АЭРОПЛАНЫ ВЪ ПРИРОДѢ

Опытъ
новой теоріи полета.

С. Джевецкій.

MDCCCLXXXVII
С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

АЭРОПЛАНЫ ВЪ ПРИРОДѢ

Опытъ
новой теоріи полета.

С. Джевецкій.

MDCCCLXXXVII
С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Печатано по распоряженію Императорскаго Русскаго Техническаго Общества.

Спб. Типографія брат. Пантелеевыхъ. Казанская ул., д. № 33.

Дмитрію Ивановичу

Менделѣеву.

Имя автора „Основъ" — лучшее напутствіе для всякаго шага впередъ на пути раскрытія и изученія тайнъ природы. Дерзая поставить это имя на первой страницѣ моего скромнаго труда, я желаю лишь одного: чтобы тѣ проблески истины, которые, можетъ быть, мнѣ удалось подмѣтить, явились озаренные яркими лучами неувядаемой славы великаго учителя.

С. К. Джевецкій.

С.-Петербургъ.
30 Марта 1887 г.

*) Вопросъ воздухоплаванія или, вѣрнѣе сказать, летанія, т. е. произвольнаго перемѣщенія въ воздушномъ просторѣ, былъ, есть и будетъ однимъ изъ самыхъ животрепещущихъ вопросовъ, вѣчно увлекающихъ человѣчество. Разсматривая этотъ вопросъ съ теоретической точки зрѣнія, т. е. по отношенію къ сопротивленію воздуха и въ его примѣненіи на практикѣ природными летателями, птицами и насѣкомыми, можно придти къ заключенію, что задача свободнаго летанія для человѣка, не выходитъ изъ ряда тѣхъ, которыя разрѣшимы на основаніи нынѣшнихъ знаній и съ помощью уже существующихъ механическихъ средствъ. При дальнѣйшемъ разборѣ вопроса мы увидимъ, что самый раціональный путь для разрѣшенія задачи свободнаго летанія, долженъ основываться на принципѣ аэроплана, т. е. плоскости движущейся въ воздухѣ съ извѣстною скоростью и образующей съ направленіемъ движенія нѣкоторый уголъ, тѣмъ болѣе, что мы надѣемся доказать, что птицы во время полета представляютъ собою ничто иное, какъ аэропланы.

Было бы излишнимъ доказывать еще разъ то, что уже достаточно доказано теоріею и столѣтнею практикою, а именно, что стремленіе разрѣшить задачу воздухоплаванія посредствомъ воздушныхъ шаровъ, есть не болѣе, какъ утопическая мечта, влекущая за собою большой вредъ для самаго дѣла, такъ какъ такое стремленіе лишь отвлекаетъ изслѣдователей отъ истиннаго, такъ сказать, естественнаго направленія поисковъ.

Неуправляемый шаръ представляетъ собою воздушный буекъ, увлека-

---

*) *Эта статья была предметомъ доклада автора въ Императорскомъ Русскомъ Техническомъ Обществѣ, 13 Апрѣля 1885 г.*

емый средою независимо отъ воли и даже отъ вѣдома аэронавта. Участь подобнаго шара не въ рукахъ человѣка; аэронавтъ не въ состоянiи даже удержать его на желаемой высотѣ, такъ какъ достаточно, напримѣръ, одного солнечнаго луча или влiянiя сырого и холоднаго воздуха для того, чтобы шаръ немедленно поднялся или опустился на нѣсколько сотъ метровъ.

Что же касается управляемыхъ шаровъ, то, очевидно, они могли бы выполнять свое назначенiе лишь тогда, когда обладали бы абсолютною скоростью, на столько большою, чтобы быть въ состоянiи бороться съ вѣтромъ средней силы. Для этой цѣли необходимъ могучiй двигатель, слѣдовательно, большая подъемная сила, т. е. большое воздухоизмѣщенiе, а при такихъ условiяхъ сопротивленiе къ движенiю въ воздухѣ будетъ столь велико, что если машина и будетъ въ состоянiи преодолѣть это сопротивленiе, то самый шаръ не выдержитъ напора и разорвется, подобно привязному шару во время сильнаго вѣтра. Недавнiе опыты Ренара и Кребса въ Парижѣ, надѣлавшiе столько шума и казавшiеся многимъ, какъ бы предвѣстниками разрѣшенiя столь важнаго вопроса объ управленiи воздушными шарами, увѣнчались такимъ относительнымъ успѣхомъ, лишь благодаря тому обстоятельству, что изобрѣтатели съумѣли выждать благопрiятныя условiя, т. е. полнѣйшiй штиль, или очень слабый вѣтеръ. Вообще этотъ вопросъ объ управляемыхъ шарахъ достаточно исчерпанъ, и намъ кажется излишнимъ дольше о немъ распространяться.

Природа сама указываетъ путь по которому мы должны направлять наши изслѣдованiя для разрѣшенiя настоящей задачи. Мирiады птицъ и насѣкомыхъ свободно летаютъ вокругъ насъ, не нуждаясь, однако, въ воздушныхъ шарахъ, хотя всѣ они значительно тяжелѣе измѣщаемаго ими воздуха. Что же они дѣлаютъ, эти природные летатели для того, чтобы удержаться на воздухѣ и свободно производить всѣ тѣ сложныя эволюцiи, которыя возбуждаютъ въ насъ удивленiе и восторгъ? Чтобы уяснить себѣ этотъ вопросъ, необходимо, во первыхъ, разсмотрѣть законы сопротивленiя воздуха и, во вторыхъ, изслѣдовать самый механизмъ птичьяго полета, и тогда только мы будемъ въ состоянiи вывести заключенiе относительно возможности подражанiя природнымъ летателямъ.

Точные законы сопротивленiя среды вообще и воздуха, въ особенности, еще недостаточно изслѣдованы; тѣмъ не менѣе судостроители проектируютъ суда, которыя послѣ постройки вполнѣ оправдываютъ возлагаемыя на нихъ надежды, т. е. достигаютъ предположенной въ проектѣ скорости при вычисленной заранѣе работѣ машины. Эти результаты могутъ быть достигнуты на основанiи эмпирическихъ данныхъ, выведенныхъ частью изъ самой практики, частью же изъ большаго ряда опытовъ, предпринятыхъ знаменитыми учеными всѣхъ странъ. Этими же самыми данными будемъ пользоваться и мы для опредѣленiя сопротивленiя воздуха въ разсматриваемомъ нами вопросѣ.

Галилей, Ричiолли, Ла-Гиръ и другiе ученые старались еще въ XVII

столѣтіи опредѣлить законы, которымъ подчиняется сопротивленіе среды движенію въ ней тѣлъ. Ньютонъ былъ первый, который въ XVIII столѣтіи далъ теорію сопротивленія жидкостей, которая, почти до сихъ поръ, сохранила право гражданства въ наукѣ. Въ прошломъ столѣтіи французскіе ученые Д'Аламберъ, Кондорсе и Боссю произвели замѣчательныя изслѣдованія для опредѣленія сопротивленія воды и воздуха на наклонныя плоскости и первые убѣдились въ томъ, что результаты ихъ опытовъ нисколько не соотвѣтствуютъ закону Ньютона, на основаніи котораго сопротивленіе, претерпѣваемое наклонной плоскостью, движущейся въ жидкости, пропорціонально квадрату синуса угла встрѣчи. Далѣе, другіе изслѣдователи: Борда, Робинсъ, Хутонъ, Бофуа, Дюбуа, Нордмаркъ, Чапманъ, Россель, Тибо, Дюшеменъ, Жоессель и Фроудъ, а изъ русскихъ ученыхъ Д. И. Менделѣевъ и М. А. Рыкачевъ также стремились разслѣдовать сложный вопросъ о сопротивленіи воды и воздуха, посредствомъ разнообразныхъ приборовъ и пріемовъ. Всѣ они, придя къ заключенію, что ньютоновскій законъ сопротивленія жидкости на наклонныя плоскости не вѣренъ, пробовали выражать результаты опытовъ въ эмпирическихъ формулахъ, подбирая коэффиціенты, которые возможно ближе сходились бы съ истиной. Одинъ изъ самыхъ даровитыхъ изслѣдователей—французскій полковникъ Дюшеменъ вывелъ изъ опытовъ своихъ предшественниковъ и изъ собственныхъ наблюденій формулы сопротивленія жидкости на наклонныя плоскости. Эти формулы можно принять за вполнѣ удовлетворительныя, такъ какъ величины, вычисляемыя по нимъ, сходятся вполнѣ съ величинами, полученными посредствомъ опытовъ.

Пользуясь этими формулами, мы постараемся доказать научную несостоятельность до нынѣ созданныхъ теорій для объясненія полета птицъ и предложить новое рѣшеніе этого сложнаго вопроса, примѣняя къ нему законы, которые мы выводимъ ниже для аэроплановъ.

Если бросить бѣглый взлядъ на литературу, трактующую о законахъ полета птицъ, *) то легко уловить въ массѣ невыдерживающихъ научной критики предположеній,—одно главное основное положеніе, а именно, что птица, ударяя крыльями сверху внизъ, встрѣчаетъ въ воздухѣ поддерживающую ее опору и что движеніе ея впередъ есть только послѣдствіе наклоннаго положенія крыла при его опусканіи (переднимъ ребромъ внизъ), причемъ нормальное сопротивленіе воздуха крылу, разлагается на двѣ составляющихъ: одну вертикальную, равную вѣсу птицы—подъемную силу, вторую же горизонтальную—попутный импульсъ. Изъ этого слѣдуетъ, что движеніе впередъ не составляетъ необходимаго условія для поддержанія птицы въ воздухѣ.

Большинство заслуживающихъ вниманія авторовъ варьируютъ на эту основную тему; а также они полагаютъ, что хвостъ дѣйствуетъ на

---

*) Заимствуемъ изъ Alix, Edmond: „Essai sur l' appareil locomoteur des oiseaux". Paris, 1874. Masson, Editeur. p. 473—504, списокъ авторовъ, изучавшихъ вопросъ о полетѣ птицъ—въ историческомъ порядкѣ:

Aristote—de animalium incessu.

Caii Plinii secundi. Hist. natur., l. X, ch. LIV.

Oeuvres *de Galien* trad. de Ch. Daremberg, t. II du mouvement de muscles, liv. 1, ch. VIII p. 341.

Alberti Magni. Operum. t. V. p. 129.

Frédéric II, empereur d'Allemagne l. c.

Belon. l. c. p. 46.

Aldrovande. l. c. 1599.

Fabrice d'Aquapendente. l. c. De alarum actione, hoc est de volatu.

Galilée, Discorsi e dimostrazione mathematiche, t. III. p. 11, 1655.

Gassendi. Opera omnia, 1658, De vi motrice et motionibus. De volatu, p. 537.

Jean Ray. l. c. 1676.

Borelli. l. c. 1-re éd. 1680; 2 ed 1685; 3-e éd. 1710. De motu animalium. De volatu.

Collins. l. c. 1685.

Perrault, Oeuvres, Leyde, 1721, Mécanique des oiseaux.

Parent-Barthez. l. c. p. 195.

Parent. Essais de mathématiques, t. III p. 377 et 380.

Hérissant. l. c. 1748.

Buffon. Histoire naturelle, oiseaux, 1749.

Vicq-d'Azyr. l. c. 1772.

Silberschlag. Von dem Fluge der Vögel. Schriften der Berlinischen Gesellschaft naturforschender Freunde. Zweiter band. 1781—1784. p. 214.

Huber. Observations sur le vol des oiseaux de proie. 1784.

Mauduyt. l. c. p. 355. De l'aile considerée en particulier et du vol.

Barthez. l. c. 1798.

Cuvier. Anat. comp. 1800.

Link. 1805.

Schrank. Vom Fluge der Vögel. Grundriss der allgemeiner Naturgeschichte und Zoologie.

Tiedemann. l. c. 1810.

Chabrier. Essai sur le vol des insectes et observations sur la mécanique des mou-

подобіе руля при поворотахъ, перемѣщеніе же центра тяжести для эволюцій зависитъ отъ положенія ногъ и головы птицы и т. п. ошибочныя предположенія встрѣчаются постоянно.

Даже такое свѣтило науки, какъ членъ французской академіи, профессоръ Маре, который цѣлымъ рядомъ новыхъ и крайне остроумныхъ опытовъ, произведенныхъ посредствомъ весьма точныхъ приборовъ, имъ же изобрѣтенныхъ, съумѣлъ уловить дѣйствительныя движенія крыла птицы во время полета и его послѣдовательно измѣняющіяся положенія—и тотъ, подъ вліяніемъ укоренившагося ложнаго понятія о полетѣ, не извлекъ изъ своихъ драгоцѣнныхъ изслѣдованій того истиннаго смысла, который изъ нихъ вытекаетъ, если взглянуть на дѣло съ правильной точки зрѣнія.

Борелли—первый, а затѣмъ Навье и др. ученые, пытались подвергнуть вычисленію работу, расходуемую птицей во время полета, что привело ихъ къ невѣроятнымъ результатамъ, какъ напримѣръ, что ласточка, во время полета должна производить работу равную $^1/_{17}$ лошадиной силы и что сила грудныхъ мышцъ птицы должна въ 10,000 разъ превосходить ея вѣсъ и тому подобнымъ абсурдамъ.

Дѣйствительно, если придерживаться вышеизложенной, до нынѣ принятой, теоріи и пользоваться для вычисленія эмпирическими формулами

---

vements progressifs de l'homme et des animaux vertebrés, 1823, p. 309. Du vol des oiseaux p. 320. Mécanisme du vol des oiseaux.

Jean Müller. Manuel de physiologie, 4-e éd. trad. Jourd. 1845. II. p. 188.

H. Milne-Edwards. Eléments de zoologie. 1834, p. 200.

Mac Gallivray. Histoire des oiseaux de la Grande Bretagne. 1837.

Brishop Art. Motion; Todd's Cyclopedia of anatomia and physiologia, 1847, vol III p. 424. Flight of birds.

Strauss-Durckheim. Théologie de la nature, 1852. t. I. p. 257 — 355; t. III. p. 345—445

Salvin et Broderick. Fauconnerie des îles Britanniqnes. 1855.

Giraud-Teulon. Principes de mécanique animale ou étude de la locomotion chez l'homme et les animaux vertébrés, 1858. Du vol. p. 325.

D'Esterno. Du vol des oiseaux. Indication des 7 cas du vol ramé et des 8 cas du vol à voiles. 1861.

Liais. Sur le vol des oiseaux etc. C. R. Académie des Sciences. Avril, 1861, t LII p. 96.

R. *Owen.* Anat. comp. t. II. 1866.

Marey. Mémoires sur le vol des insectes et des oiseaux. Ann. des Sc. natur. 1869 et 1872.

Wenham. Locomotion aérienne; Monde de la science, 1867.

De Lucy. Vol des oiseaux, des chauves-souris et des insectes.

Harting. Arch. néerlandaises, 1869.

Krarup. Sur le vol des oiseaux. Copenhague, 1869.

Pettigrew. Jemes Bell. On the physiology of wings, being an analysis of the mosements by which flight is produced in the insect, bat, and bird. Trans. of the Royal voc. of Edimb. 1872.

Кромѣ того во французскомъ журналѣ «l'Aéronaute» (Paris, Rue Lafayette, 95), можно найти много весьма интересныхъ статей по тому же предмету, между прочимъ см. Ch. Hauvel—de L'Ouvrié;—Hureau-de-Villeneuve, и мн. др.

полковника Дюшемена, основанными на многочисленныхъ опытахъ, то легко убѣдиться, что существующія птицы не въ состояніи летать.

Возьмемъ для примѣра сарыча (Buteo), поверхность крыла котораго примемъ въ 0,1 кв. метра (въ дѣйствительности гораздо меньше); опредѣлимъ въ 0,2 метра разстояніе отъ центра давленія крыла до его оси вращенія; число ударовъ крыла оказывается, по наблюденіямъ, равно пяти въ секунду и предположимъ, наконецъ, что амплитуда колебанія достигаетъ 120^0 (въ дѣйствительности она гораздо меньше). Отсюда легко опредѣлить тангенціальную скорость опусканія центра давленія крыла; она будетъ:

$$V = \frac{2\pi \times 0,2 \times 120}{360 \times 0,2} = 2,07 \text{ метр.}$$

Если теперь принять формулу Дюшемена, опредѣляющую сопротивленіе, претерпѣваемое плоскостью, движущеюся въ воздухѣ вокругъ неподвижной оси, находящейся въ этой плоскости, получимъ *):

$$R = 0,627 \ S.\ \Delta.\ V^2 \left(1 + \frac{0,8122 \sqrt{S}}{0,627 \times l}\right)$$

гдѣ R—выражаетъ сопротивленіе, претерпѣваемое крыломъ, въ килограммахъ,

S—поверхность крыла; въ данномъ случаѣ равняется 0,1 кв. метра

Δ– удѣльный вѣсъ воздуха, или массу кубическаго метра воздуха, выраженнаго въ килограммахъ; принимая плотность воздуха въ 850 разъ менѣе плотности воды, получимъ $\Delta = \frac{1000}{g.850}$, гдѣ g выражаетъ ускореніе тяжести; g=9,8, слѣдовательно,

$$\Delta = \frac{1000}{9,8 \times 850} = 0,12 \text{ кгр.}$$

V—обозначаетъ тангенціальную скорость опусканія крыла; въ данномъ случаѣ V равно 2 метрамъ,

l—выражаетъ разстояніе центра давленія крыла отъ оси вращенія; въ разсматриваемомъ случаѣ l=0,2 метра.

Вставляя эти цыфры на мѣсто соотвѣтствующихъ знаковъ въ предыдущей формулѣ, получимъ:

$$R = 0,627 \times 0,1 \times 0,12 \times 4 \left(1 + \frac{0,8122 \sqrt{0,1}}{0,627 \times 0,2}\right) = 92 \text{ гр.}$$

для каждаго крыла; слѣдовательно, для обоихъ крыльевъ будемъ имѣть

*) Recherches expérimentales sur les lois de la resistance des fluides, par M. le Colonel Duchemin. Memorial de l'artillerie, № V. p. 275.

184 грамма; это есть подъемная сила, поддерживающая на воздухѣ птицу, вѣсъ которой чуть ли не въ 10 разъ превосходитъ это число; отсюда вытекаетъ, что при разсматриваемыхъ условіяхъ, существующихъ въ дѣйствительности, въ природѣ, птица не была бы въ состояніи летать. Далѣе, если при вышепринятыхъ размѣрахъ крыла будемъ увеличивать скорость взмаховъ до тѣхъ поръ, пока встрѣчаемое крыломъ сопротивленіе будетъ равно вѣсу птицы и полученную, такимъ образомъ, тангенціальную скорость умножимъ на это сопротивленіе, то получимъ настолько громадную работу, что перестанемъ удивляться выводамъ Борелли и Навье.

Итакъ, мы видимъ, что придерживаясь принятой теоріи, называемой „*ортоптерной*“ *), мы доходимъ до абсурда; съ другой стороны, точныя изслѣдованія профессора Марс, посредствомъ самопишущихъ приборовъ, доказали, что крыло, дѣйствительно, принимаетъ тѣ послѣдовательныя положенія, на которыя указываетъ ортоптерная теорія; откуда же происходитъ это разногласіе? Оно происходитъ просто отъ того, что изслѣдователи, даже такіе, какъ профессоръ Марс, упускаютъ изъ виду поступательное движеніе птицы во время наблюдаемаго взмаха крыла. Надобно замѣтить при этомъ, что скорость поступательнаго движенія всегда гораздо больше тангенціальной скорости центра давленія крыла при взмахѣ.

Принимая въ расчетъ этотъ, упущенный изъ вида, факторъ, все дѣло измѣняется. Возьмемъ, для примѣра, попрежнему сарыча, при тѣхъ же самыхъ условіяхъ; примемъ быстроту его полета V въ 20 метровъ, а такъ какъ мы выше опредѣлили скорость V' центра сопротивленія C при взмахѣ крыла въ 2 метра, то изъ этого слѣдуетъ, что точка C, въ одно и тоже время перемѣщаясь горизонтально на величину V и вертикально на величину V', относительно спокойнаго воздуха, будетъ, въ дѣйствительности, перемѣщаться по равнодѣйствующей этихъ двухъ величинъ V и V', т. е. по діагонали V'', слѣдовательно, и будетъ встрѣчать частицы воздуха по этому же направленію. Но такъ какъ V' въ 10 разъ меньше V, то равнодѣйствующая V'' этихъ двухъ скоростей будетъ образовать съ горизонтальнымъ направленіемъ полета V уголъ ω, тангенсъ котораго обусловится отношеніемъ $\frac{V'}{V}$, а такъ какъ $\frac{V'}{V} = 0{,}1$, то самый уголъ ω и не превзойдетъ 6^0, ($\operatorname{tg} 6^0 = 0{,}105$).

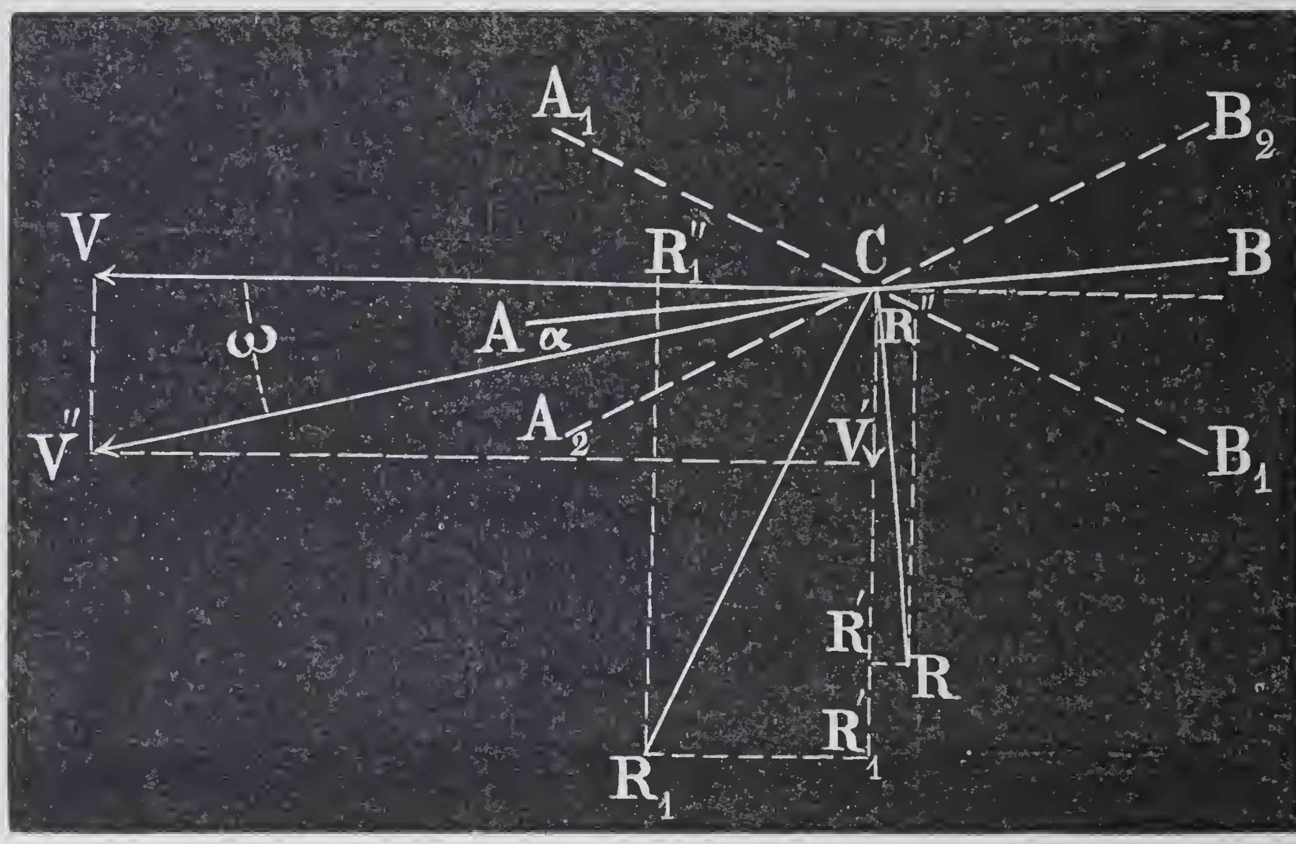
Принимая теорію ортоптерную, крыло должно при взмахѣ внизъ (причемъ переднее его ребро находится ниже задняго) встрѣчать нормальное сопротивленіе R, которое, разлагаясь на проекціи по направленію V' и по V, составляетъ подъемную силу R' и поступательный импульсъ R''

Для того чтобы этотъ импульсъ R'' существовалъ и былъ въ самомъ дѣлѣ попутнымъ, т. е. по направленію полета, необходимо чтобы плоскость крыла, поперечный разрѣзъ котораго изображенъ на чертежѣ

---

*) Ορθός—прямой, πτερόν—крыло.

линіей AB, находилась внутри угла, образуемаго скоростями V и V''. Дѣйствительно, если бы крыло находилось внѣ этого угла, т. е., напримѣръ въ A_1B_1, или A_2B_2, то въ первомъ случаѣ, проекція R_1'', нормальнаго сопротивленія R_1, по направленію V, вмѣсто того, чтобы служить попутнымъ импульсомъ, препятствовала бы движенію, такъ какъ она направлена въ обратную сторону. Подобнымъ образомъ крыло не должно также принимать положеніе A_2B_2, потому что сопротивленіе воздуха, дѣйствующее по направленію V'', въ этомъ случаѣ ударяло бы не на нижнюю, а на верхнюю часть крыла; понятно, что этого рода сопротивленіе будетъ препятствовать полету. Можно также доказать,



что положеніе крыла не должно совпадать ни съ направленіемъ V, ни съ направленіемъ V'', потому что, въ первомъ случаѣ, импульсъ, т. е. проекція на направленіе движенія, будетъ нуль, во второмъ же случаѣ, крыло никакого нормальнаго сопротивленія испытывать не будетъ, слѣдовательно, импульса опять таки не будетъ. И такъ, попутный импульсъ будетъ или отрицательный, или нуль—во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда крыло не занимаетъ положенія внутри угла ω, и будетъ максимумъ, когда уголъ α (встрѣча плоскости крыла съ воздухомъ по равнодѣйствующей V'') будетъ, приблизительно, $\alpha = \frac{\omega}{2}$. Но такъ какъ уголъ $\omega = 6^0$, то уголъ α долженъ быть $\alpha = \frac{6^0}{2} = 3^0$, слѣдовательно, весьма незначителенъ,—и нормальное сопротивленіе плоскости будетъ столь близко къ нормальной движенію, что проекція этой нормали по направленію V будетъ очень незначительная. Эта проекція, согласно теоріи Маре, и даетъ величину попутнаго импульса. Мы видимъ, приэтомъ насколько она будетъ мала въ данномъ случаѣ, и нельзя допустить, чтобы выражаемое ею усиліе было въ состояніи придать птицѣ ту значительную скорость, которою она

обладаетъ, тѣмъ болѣе, что этотъ импульсъ долженъ сохраниться въ въ формѣ живой силы до слѣдующаго удара крыльями.

Остановимся на нашемъ послѣднемъ выводѣ и посмотримъ куда насъ привела неумолимая логика?

На вышеприведенномъ чертежѣ мы видимъ, что плоскость крыла, (поперечное сѣченіе котораго, вертикальною плоскостью параллельной направленію полета, неизбѣжно должно при опусканіи занимать указанное положеніе AB), составляетъ съ абсолютнымъ направленіемъ движенія (относительнымъ вѣтромъ) небольшой уголъ; въ этомъ случаѣ, сопротивленіе, претерпѣваемое крыломъ происходитъ отъ относительнаго къ крылу по V'' вѣтра; это сопротивленіе R, зависящее главнымъ образомъ отъ движенія впередъ V, разлагаясь на составляющую по вертикали, R', порождаетъ подъемную силу, поддерживающую птицу на воздухѣ. Но подобное положеніе крыла, есть ничто иное, какъ *аэропланъ*. Здѣсь движеніе птицы впередъ является не какъ второстепенный фактъ, но какъ источникъ подъемной силы. И такъ, въ разсматриваемомъ случаѣ, мы невольно дошли до аэроплана.

Такимъ образомъ, ортоптерная теорія становится лицемъ къ лицу передъ неизбѣжной дилеммой. Если не примемъ въ расчетъ движенія птицы впередъ—мы дойдемъ до абсурда, какъ указано выше; если же его примемъ, то ортоптерная теорія сводится къ *аэропланной*.

Доказавъ несостоятельность ортоптерной теоріи, разсмотримъ теперь законы, которымъ подчиняются аэропланы; для этого будемъ пользоваться эмпирическими формулами, выведенными тѣмъ же полковникомъ Дюшеменомъ для опредѣленія сопротивленія, встрѣчаемаго плоскостью движущейся въ воздухѣ и образующей съ направленіемъ движенія нѣкоторый уголъ.

По этой формулѣ, называя:

R — нормальное сопротивленіе на наклонную плоскость, встрѣчающую жидкость подъ угломъ α,

K—коэффиціентъ, зависящій отъ того, движется ли плоскость, или жидкость,

V—скорость движенія,

S—поверхность плоскости и

Δ—плотность жидкости,—получается: *)

$$R = K\left(1 - \frac{\mathrm{Sin}\alpha.\ \mathrm{Cos}\alpha}{6{,}48} + \frac{\mathrm{Cos}^2\alpha}{3{,}52}\right)\frac{2S.V^2.\ \Delta.\mathrm{Sin}\alpha}{1 + \mathrm{Sin}^2\alpha} \quad \ldots\ldots\ (I)$$

*) Recherches experim. etc Col. Duchemin p. 227.

Если жидкость движется, а плоскость неподвижна, то К=0,9318, если же движущаяся плоскость встрѣчаетъ неподвижную жидкость, то нужно принять К=0, 6270 *) для нормальной встрѣчи.

Кромѣ того, изъ опытовъ Тибо, Бофуа, того же Дюшемена и въ послѣднее время Жоесселя видно, что коэффиціентъ К измѣняется съ измѣненіемъ угла α, а именно: при уменьшеніи α отъ 90° до 0° этотъ коэффиціентъ постепенно увеличивается и при величинахъ α близкихъ къ нулю достигаетъ величины, почти вдвое большей, чѣмъ первоначальная. Такимъ образомъ, этотъ коэффиціентъ можно выразить формулою К $\frac{2}{2 - \text{Cos}\alpha}$ что согласуется съ результатами большаго числа опытовъ.

И такъ, въ формулѣ (I) слѣдуетъ замѣнить К выраженіемъ К $\frac{2}{2-\text{Cos}\alpha}$ и спеціально для случая, который мы будемъ разсматривать, именно, случая движенія плоскости въ неподвижной средѣ.

$$K = 0{,}627\ \frac{2}{2-\text{Cos}\alpha} = \frac{1{,}254}{2-\text{Cos}\alpha}$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ наблюденія Дюшемена надъ сопротивленіемъ воздуха привели его къ заключенію, что оно возрастаетъ быстрѣе квадрата скорости (это было замѣчено и прежде). Дюшеменъ приписываетъ это явленіе упругости сжимаемаго воздуха. Для того, чтобы выразить это свойство воздуха, Дюшеменъ, на основаніи многочисленныхъ наблюденій, далъ слѣдующую формулу для выраженія плотности Δ **).

$$\Delta = \delta\left(1 + \frac{V}{\gamma}\right)$$

Въ этой формулѣ δ означаетъ плотность жидкости, V—скорость движенія, а γ—скорость, съ которою упругая жидкость устремляется въ пустое пространство. Для воздуха $\gamma = 416$ метрамъ.

Такъ какъ отношеніе плотности воздуха къ плотности воды при обыкновенныхъ условіяхъ равняется $\frac{1}{850}$, то

$$\Delta = \frac{1000}{g \times 850}\left(1 + \frac{V}{416}\right) \text{ килогр.}$$

Здѣсь g выражаетъ ускореніе силы тяжести, т. е., 9,81 метровъ.

Если теперь въ формулу (I) вставимъ соотвѣтственныя выраженія для К и Δ, то получимъ:

$$R = \frac{1{,}254}{2-\text{Cos}\alpha}\left(1 - \frac{\text{Sin}\alpha.\text{Cos}\alpha}{6{,}48} + \frac{\text{Cos}^2\alpha}{3{,}52}\right)\frac{2S.V^2.\text{Sin}\alpha}{1 + \text{Sin}^2\alpha} \times \frac{1000\left(1 + \frac{V}{416}\right)}{850 \times 9{,}81}$$

*) Recherches etc. Duchemin. p. 197.

**) l. c. p. 269.

Затѣмъ, произведя упрощенія и сокращенія и замѣнивъ Sinα. Cosα выраженіемъ $\frac{\mathrm{Sin}2\alpha}{2}$, имѣемъ:

$$R=0,000015 8332(45,619+12,96\mathrm{Cos}^2\alpha-3,52\,\mathrm{Sin}2\alpha)\times$$

$$\times\frac{\mathrm{Sin}\alpha(416+V)}{(1+\mathrm{Sin}\alpha^2)(2-\mathrm{Cos}\alpha)}V^2.S \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (II)$$

Здѣсь площадь S выражена въ квадратныхъ метрахъ, скорость V—въ метрахъ, въ секунду и сопротивленіе R—въ килограммахъ.

Эта формула сопротивленія выражаетъ нормальное сопротивленіе, претерпѣваемое плоскостью S, встрѣчающею со скоростью V неподвижный воздухъ, подъ угломъ α къ направленію движенія. Нормальное сопротивленіе R разлагается на двѣ составляющія: одну перпендикулярную къ направленію движенія (подъемную силу) R′

$$R' = R.\,\mathrm{Cos}\alpha$$

и другую R″, прямо противоположную направленію движенія.

$$R'' = R.\,\mathrm{Sin}\alpha$$

$$R'' = R'.\,\mathrm{Tg}\alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (III)$$

Если при этихъ условіяхъ вѣсъ плоскости P будетъ равенъ подъемной силѣ R′, то движеніе должно происходить по горизонтальному направленію. Слѣдовательно, для того чтобы получить горизонтальное движеніе плоскости, нужно уравнять P съ R′; для этого должно быть

$$P = R.\,\mathrm{Cos}\alpha$$

или, вставляя вмѣсто R его выраженіе (II) получимъ:

$$P=0,0000158332\,(45,619+12,96\,\mathrm{Cos}^2\alpha-3,52\,\mathrm{Sin}2\alpha)\frac{\mathrm{Sin}\alpha.\mathrm{Cos}\alpha\;(416+V)}{(1+\mathrm{Sin}^2\alpha)(2-\mathrm{Cos}\alpha)}V^2.S$$

или же проще

$$P = 0,0000079166\;(45,619+12,96\;\mathrm{Cos}^2\alpha-3,52\mathrm{Sin}2\alpha)\times$$

$$\times\frac{\mathrm{Sin}2\alpha\;(416\,+\,V)}{(1+\mathrm{Sin}^2\alpha)\,(2-\mathrm{Cos}\alpha)}V^2.S \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (IV)$$

Эта формула даетъ намъ число килограммовъ, которое способна удерживать на воздухѣ плоскость въ S кв. метровъ, движущаяся по горизонтальному направленію въ неподвижномъ воздухѣ со скоростью V и составляющая съ направленіемъ движенія уголъ α.

ТАБЛИЦА А.

Величины (P) килограммовъ вычислены по формулѣ (IV).

α	V=5	V=10	V=15	V=20	V=25	V=30
20′	0,05675	0,22969	0,52340	0,94032	1,48600	2,16425
40′	0.11339	0,45905	0,82987	1,87887	2,96942	4,32443
1°	0,17001	0,68814	1,56648	2,81713	4,45215	6,48494
1°30′	0,25435	1,02947	2,34350	4,21453	6,66007	9,70019
2°	0,33834	1,36944	3,11740	5,60634	8,86037	12,9036
2°30′	0,42179	1,70720	3,88629	6,98910	11,0457	16,0861
3°	0,50461	2,04242	4,64937	8,36143	13,2145	19,2447
4°	0,66800	2,70374	6,15482	11,0688	17,4934	25,4760
5°	0,82784	3,35146	7,62753	13,7174	21,6792	31,5720
6°	0,98365	3,98135	9,06320	16,6790	25,7597	37,5145
7°	1,13434	4,59125	10,4516	18,7961	29,7057	43,2622
8°	1,27971	5,17965	11,7910	21,2050	33,5127	48,8054
9°	1,41949	5,74538	13,0790	23,5210	37,1730	54,1360
10°	1,55282	6,28514	14,3074	25,7303	40,6641	59,2210

ТАБЛИЦА В.

Величины (T) килограммометровъ вычислены по формулѣ (XI).

α	V=5	V=10	V=15	V=20	V=25	V=30
20′	0,020888	0,164312	0,551767	1,30521	2,54703	4,4003
40′	0,025834	0,204365	0,688553	1,63305	3,1947	5,5321
1°	0.034075	0,27106	0,916279	2,17880	4,2738	7,4178
1°30′	0,052539	0,42053	1,42663	3,40302	6,7514	11,6428
2°	0,078277	0,62917	2,139067	5,11156	10,0664	17,5406
2°30′	0,111316	0,89633	3,051322	7,29880	14,3875	25,0926
3°	0,151466	1,22125	4,161082	9,95980	19,6445	34,2797
4°	0,252798	2,04159	6,96927	16,6759	32,9124	57,4662
5°	0,381370	3,08312	10,51597	25,1982	49,7479	86,8881
6°	0,536172	4,33552	14,7948	36,2564	70,0169	122,3103
7°	0,715632	5,78830	19,7555	47,3532	93,5159	163,3806
8°	0,918497	7,43047	25,3629	60,7990	120,0784	209,7972
9°	1,143357	9,25074	31,5783	75,7028	149,5214	261,2484
10°	1,388257	11,23315	37,8477	91,9354	181,5877	317,2884

На основаніи этой формулы составлена прилагаемая при семъ таблица (А). Въ этой таблицѣ вычислены величины P для разныхъ величинъ угла α и скоростей V, при площади равной 1 квадр. метру. Изъ этой таблицы видно, сколько килограммовъ въ состояніи удержать на воздухѣ одинъ квадратный метръ плоскости при горизонтальныхъ скоростяхъ V, измѣняющихся отъ 5 до 30 метровъ въ секунду и углахъ встрѣчи отъ 20′ до 10°.

Для того, чтобы изъ этой таблицы получить подъемную силу любой плоскости въ S квадратныхъ метровъ, слѣдуетъ только величину P, взятую изъ таблицы умножить на S.

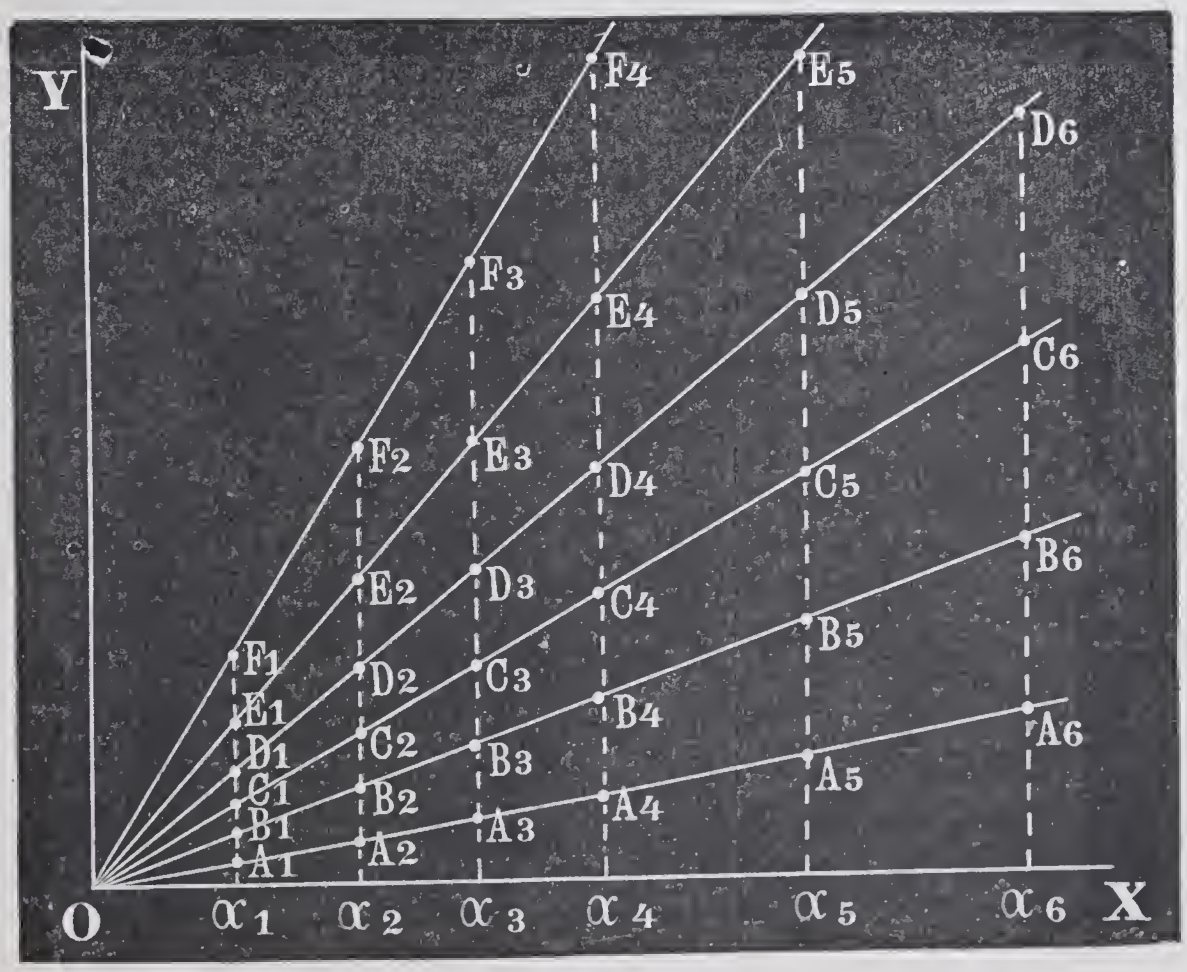
Подобнымъ-же образомъ составлено графическое изображеніе измѣненія величинъ P, согласно каждому столбцу вышеупомянутой таблицы. На оси x—овъ отложены абсциссы:

$$O\alpha_1,\ O\alpha_2,\ O\alpha_3 \ldots\ldots$$

длины, соотвѣтствующія дугамъ угловъ α, а на оси y—овъ ординаты

$$\alpha_1A_1,\ \alpha_2A_2,\ \alpha_3A_3, \ldots$$
$$\alpha_1B_1,\ \alpha_2B_2,\ \alpha_3B_3, \ldots$$
$$\alpha_1C_1,\ \alpha_2C_2,\ \alpha_3C_3, \ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

соотвѣтствующія величинамъ P, полученнымъ изъ приложенной табли-



цы послѣдовательно въ столбцахъ I, II, III, и т. д., т. е., при скоростяхъ возрастающихъ отъ 5 до 30 метровъ и увеличивающихся углахъ α

Оказывается, что линіи, соединяющія соотвѣтственныя, разнымъ скоростямъ, группы точекъ

$$\begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & \dots \\ B_1 & B_2 & B_3 & \dots \\ C_1 & C_2 & C_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$$

суть прямыя линіи, проходящія всѣ, очевидно, черезъ начало координатъ, такъ какъ при $\alpha=0$ и P, для всѣхъ скоростей, будетъ тоже нуль.

Этотъ результатъ даетъ намъ право, до извѣстной степени, упростить формулу (IV). Прямолинейное измѣненіе двухъ величинъ, x и y, изъ коихъ одна есть функція другой, алгебраически выражается прямою пропорціональностью $y=Ax$, гдѣ A есть постоянный коэффиціентъ. Въ данномъ случаѣ перемѣнныя величины—P и α, слѣдовательно $P=A\alpha$.

Чтобы опредѣлить величину коэффиціента A, слѣдуетъ только сдѣлать $\alpha=1$ и изъ формулы (IV) получимъ

$$P=0{,}000016153\ (416+V)\ V^2.S.\alpha \quad \dots\dots\dots \quad (V)$$

Эта формула даетъ, величины P, вычисленныя въ таблицѣ (А) конечно, лишь съ нѣкоторымъ приближеніемъ и только въ небольшихъ предѣлахъ угла α, но она подкупаетъ своей простотой; такъ что мы будемъ ею пользоваться, по преимуществу, съ условіемъ провѣрить полученные результаты формулою (IV), какъ болѣе точною.

Формулу (IV) можно еще выразить весьма близко эмпирическою формулою

$$P=0{,}000217486\ (416+V)\ V^2.S.\ \mathrm{Sin}\ (4{,}25\alpha)$$

Разсматривая послѣднюю формулу, мы видимъ, что P максимумъ соотвѣтствуетъ $\alpha=\frac{\pi}{2}\times\frac{1}{4{,}25}$; такъ какъ $\mathrm{Sin}\alpha$ достигаетъ тогда наибольшей своей величины, что доказываетъ ея большое согласіе съ формулою (IV), въ которой величина P принимаетъ наибольшее значеніе при углахъ α, близкихъ къ тому же значенію $\frac{\pi}{2}\times\frac{1}{4{,}25}$

Примѣняя эту формулу для вычисленія сопротивленія, получаются данныя, совпадающія съ результатами опытовъ *).

И такъ мы видимъ, что съ помощью формулы (IV) или, проще, формулы (V) (въ означенныхъ предѣлахъ), мы можемъ легко опредѣлить подъемную силу движущейся въ воздухѣ наклонной плоскости.

*) Traité théorique et experimental d'hydrodynamique par M. l'abbé Bossut. 1787. t. II p. 411.

Далѣе, намъ надо опредѣлить, какую работу придется затратить, чтобы заставить нашу плоскость двигаться горизонтально при данныхъ условіяхъ.

Работа T будетъ, очевидно, равняться претерпѣваемому сопротивленію ρ (по направленію противоположному движенію), умноженному на скорость V. Разсмотримъ это сопротивленіе. Оно будетъ состоять изъ трехъ различныхъ элементовъ:

$$\rho=\rho_1+\rho_2+\rho_3$$

Первый изъ нихъ, т. е. ρ_1 будетъ слагающая сопротивленія R, зависящая отъ встрѣчи воздуха съ плоскостью S подъ угломъ α. Мы видѣли (III), что эта слагающая

$$R'' = R'.Tg\alpha$$

слѣдовательно,

$$\rho_1 = R'' = R'.Tg\alpha$$

а такъ какъ въ данномъ случаѣ мы приняли

$$R' = P$$

то для плоскости S получимъ:

$$\rho_1 = P.Tg\alpha.S \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (VI)$$

Зная вѣсъ прибора P и уголъ α можно опредѣлить ρ_1.

Второй элементъ—ρ_2 будетъ зависѣть отъ миделеваго сѣченія аппарата, по преимуществу лодки или корпуса птицы. Если назовемъ s —плоскость миделя прибора, то

$$\rho_2=s\frac{V^2}{2g}K.\delta$$

гдѣ K—коэффиціентъ, зависящій отъ формы лодки, и δ—вѣсъ кубическаго метра воздуха:

$$\delta = \frac{1000}{850} \text{ кгр.}$$

Принимая для K величину 0,05, которая получилась опытами для нѣкоторыхъ судовъ хорошаго образованія *), имѣемъ:

$$\rho_2=\frac{s.V^2.0{,}05.1000}{2.\ 9{,}81.\ 850}$$

При обыкновенныхъ условіяхъ и для облегченія вычисленій, можемъ принять величину s равною 0,01 поверхности S всего прибора. Это совершенно достаточно въ практикѣ для летательнаго снаряда, хотя у птицъ это отношеніе немного измѣняется, тогда:

---

*) Campaignac.—Morin.

$$\rho_2 = \frac{0{,}05.0{,}01.1000}{2.\ 850.\ 9{,}81} S.V^2$$

или, окончательно,

$$\rho_2 = 0{,}00003\ S.V^2 \text{ кгр.} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (VII)$$

Третій элементъ сопротивленія, т. е. ρ_3 происходитъ отъ тренія воздуха о поверхность S; онъ зависитъ отъ качества поверхности, скорости движенія и плотности жидкости. Для опредѣленія величины этого тренія, можно воспользоваться формулой Фроуда, основанной на его замѣчательныхъ опытахъ. Если принять, что шелковая или перната поверхность будетъ имѣть тотъ же коэффиціентъ тренія, что и коленкоровая, и въ воздухѣ будетъ тотъ же коэффиціентъ, что и въ водѣ (хотя надо полагать, что треніе въ воздухѣ меньше, чѣмъ въ водѣ), то, согласно формулѣ Фроуда, получимъ *).

$$\rho_3 = 0{,}1S\ (V^2 + 0{,}25\ V)\ \delta \text{ кгр.},$$

что для воздуха составитъ

$$\rho_3 = \frac{0{,}1}{850}(V^2 + 0{,}25\ V)\ S$$

или

$$\rho_3 = (0{,}000118\ V^2 + 0{,}0000295\ V)\ S \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (VIII)$$

Слагая элементы ρ_1, ρ_2, ρ_3, (VI, VII и VIII), получимъ

$$\rho = P.Tg\alpha.\ S + 0{,}00003\ S.\ V^2 + (0{,}000118\ V^2 + 0{,}0000295\ V)\ S \quad . \ . \quad (IX)$$

или, принимая S = 1 квадр. метру,

$$\rho = P.Tg\alpha + 0{,}000148\ V^2 + 0{,}0000295\ V \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (X)$$

Для того чтобы вывести работу T, слѣдуетъ только умножить ρ на V и получится, на квадратный метръ плоскости

$$T = (P.\ Tg\alpha + 0{,}000148\ V^2 + 0{,}0000295V)\ V \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (XI)$$

По этой формулѣ составлена вторая таблица (В),**) подобная той, которую мы разсматривали выше. Въ ней каждая величина T вычислена при тѣхъ же условіяхъ угла α и скорости V, что и P въ таблицѣ (А). Изъ сопоставленія этихъ двухъ таблицъ легко найти работу T, нужную для поднятія груза P, плоскостью въ 1 квадр. метръ, что и опредѣляетъ скорость движенія V и уголъ α, необходимые для достиженія этого поднятія.

---

*) Brith. Assoc. 1872 и 1874.

**) См. стр. 16.

Далѣе видно, что отношеніе $\frac{P}{T}$ т. е. число килограммовъ, поднятыхъ работой, равной одному килограммометру, уменьшается съ увеличеніемъ скорости, т. е., что одинъ килограммометръ можетъ поднять больше груза при малыхъ скоростяхъ, нежели при большихъ. Эта полезная работа, при всѣхъ скоростяхъ, сперва увеличивается, съ увеличеніемъ угла α отъ 0° до $1^\circ 50'$, а затѣмъ постепенно уменьшается, такъ что максимумъ полезной работы соотвѣтствуетъ углу близкому къ $1^\circ 50'$ Впослѣдствіи мы опредѣлимъ точнѣе условія минимальной работы.

Изъ этого видно, что было-бы удобнѣе при проектированіи аэроплановъ избирать, по возможности, малыя скорости, при углахъ встрѣчи около $1^\circ 50'$, для полученія максимума полезной работы двигателя. Но при этомъ, къ сожалѣнію, становится возможнымъ поднятіе лишь чрезвычайно маленькихъ грузиковъ, потому что (какъ видно изъ таблицы (A),) подъемная сила плоскости, при маленькихъ скоростяхъ и маленькихъ углахъ, весьма незначительна. Поэтому для поднятія груза нѣсколько большаго, пришлось бы прибѣгать къ поверхностямъ громадныхъ размѣровъ, что на практикѣ неудободостижимо.

Вѣрность этого нашего теоретическаго вывода, въ природѣ, подтверждается преимуществомъ малыхъ птицъ предъ большими, такъ какъ первыя, не будучи въ необходимости поднимать большаго груза (своего тѣла), находятся въ самыхъ выгодныхъ условіяхъ, указанныхъ выше, и ихъ мышцы работаютъ при лучшихъ условіяхъ полезнаго дѣйствія. Мы постоянно видимъ, что маленькія птички поднимаются прямо съ земли, взлетая на деревья и крыши, подъ весьма крутыми углами, между тѣмъ какъ для большихъ птицъ—орловъ, кондоровъ, гусей и т. п. поднятіе съ земли становится весьма затруднительнымъ.

Изъ приложенныхъ таблицъ также видно, что отношеніе $\frac{P}{T}$, въ предѣлахъ V отъ 5 до 30 метровъ, измѣняется приблизительно отъ 5 до 0,87. Для большихъ птицъ примѣнимы столбцы 3, 4, 5, 6, т. е., тѣ, въ которыхъ скорости V измѣняются отъ 15 до 30 метр. въ секунду, что и есть средняя скорость полета большихъ птицъ. Въ этихъ столбцахъ отношеніе $\frac{P}{T}$ измѣняется отъ 1,6 до 0,87.

Подтвержденіе этого теоретическаго вывода мы можемъ найти въ наблюденіяхъ профессора Маре, который опредѣлилъ на основаніи опытовъ, что 15 килограммовъ грудныхъ мышцъ птицы въ состояніи произвести работу одной паровой силы, т. е., 75 килограммометровъ; слѣдовательно, одинъ килограммъ мышцы произведетъ $^{75}/_{15}$, т. е. около 5 килограммометровъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ, по наблюденіямъ Люси, Гартинга и Маре, вѣсъ грудныхъ мышцъ составляетъ, приблизительно, $^1/_6$ часть вѣса всей птицы *). Слѣдовательно, 5 килограммометровъ расхо-

*) Marey. La Machine Animale.—p. 221.

дованной работы должны поднять около 6 килограммовъ груза и поэтому отношеніе $\frac{P}{T}=\frac{6}{5}=1,2$, что очень близко къ тѣмъ результатамъ, которые указываетъ намъ теорія, т. е. отъ 1,6 до 0,87.

Чтобы еще болѣе точно показать согласіе выведенныхъ нами законовъ, съ указаніями природы, обратимъ вниманіе на слѣдующій фактъ: Люси составилъ очень интересную таблицу *) отношенія поверхности къ поднимаемому грузу для нѣкоторыхъ насѣкомыхъ и птицъ. Переводя эти данныя на поднятый однимъ квадратнымъ метромъ поверхности, грузъ, какъ въ нашей таблицѣ (A), получаемъ слѣдующее:

У комара	1 метръ	поверхности	поднимаетъ	0,1	килогр.
„ бабочки	„	„	„	0,12	„
„ голубя	„	„	„	3,9	„
„ аиста	„	„	„	5,0	„
„ журавля австрал.	„	„	„	11,1	„

Сопоставляя эти цыфры съ цыфрами нашей таблицы (A) мы видимъ, что грузы 0,1 килогр. и 0,12 килогр. на квадратный метръ меньше даже величинъ P нашего перваго столбца и, слѣдовательно, эти грузы могутъ быть подняты при очень небольшихъ скоростяхъ, т. е., меньшихъ 5 метровъ въ секунду, при малыхъ углахъ. Дѣйствительно, мы знаемъ, что полетъ комара и бабочки, относительно, весьма не быстръ. Для голубя, вѣсъ котораго 0,290 килогр. и у котораго поверхность крыльевъ 0,075 квадр. метр., приходится на квадратный метръ поверхности 3,9 килогр. груза. Скорость полета голубя должна быть по нашей таблицѣ и формулѣ (IV) 20,5 метровъ въ секунду или, въ часъ, около 74 километровъ, что въ дѣйствительности и подтверждается наблюденіями. Работа же этого голубя будетъ, согласно таблицѣ (B) и формулѣ (XI), 3,175 килограммометровъ на квадратный метръ поверхности. Слѣдовательно, для голубя, поверхность крыльевъ котораго всего 0,075 кв. метра, работа будетъ $3,175\times0,075=0,238$ килограммометра. А такъ какъ мы видѣли выше, что одинъ килограммометръ работы поднимаетъ около 1,2 килогр. груза, то 0,238 килограммометра должны поднять $0,238\times1,2=0,2856$ килогр. Слѣдовательно, этотъ голубь долженъ бы вѣсить около 286 граммовъ, что и подтверждается, такъ какъ вѣсъ взятаго здѣсь голубя—290 граммовъ.

Выведенное нами сходство между законами, на которыхъ основывается теорія аэроплановъ и результатами нѣкоторыхъ наблюденій надъ природными летателями, даетъ намъ право предположить, пока въ видѣ гипотезы, что природные летатели представляютъ собою ничто иное, какъ одушевленные аэропланы, и на этомъ основаніи продолжать дальнѣйшую разработку вопроса, для болѣе точнаго изученія полета, съ

---

*) Marey. La Machine Animale p. 231.

условіемъ, однако, оправдать впослѣдствіи нашу гипотезу вполнѣ научными доказательствами.

Поэтому при дальнѣйшемъ разборѣ вопроса мы будемъ примѣнять для всѣхъ летателей, безразлично, одни и тѣ же законы аэроплановъ. Во всемъ, что слѣдуетъ ниже, будемъ постоянно подъ словомъ *полетъ* понимать *горизонтальное* перемѣщеніе летателя въ воздухѣ, такъ какъ этотъ видъ полета можно считать нормальнымъ и самымъ простымъ способомъ передвиженія въ воздушномъ пространствѣ, а по своему примѣненію къ аэропланамъ, онъ интересуетъ насъ болѣе другихъ видовъ полета.

Разсмотримъ, во первыхъ, при какихъ условіяхъ работа, затраченная на движеніе, будетъ наивыгоднѣйшимъ образомъ утилизирована летателемъ, такъ какъ, очевидно, что одушевленные летатели стремятся, по возможности, создать эти условія максимальнаго полезнаго дѣйствія ихъ двигателя.

Мы видѣли выше, что формула (V) опредѣляетъ въ килограммахъ количество груза P, который поддерживается въ воздухѣ плоскостью въ S квадратныхъ метровъ, обладающей поступательнымъ горизонтальнымъ движеніемъ со скоростью V метровъ въ секунду и образующей съ направленіемъ движенія уголъ α; слѣдовательно, для поверхности въ одинъ квадратный метръ, грузъ

$$P = 0{,}000016153\,(416 + V)\,V^2.\alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (XII)$$

Если въ этомъ уравненіи принять V за величину постоянную, то грузъ P будетъ, очевидно, функціей лишь отъ одного α, такъ что, придавая P послѣдовательно различныя значенія: P_1, P_2, P_3... мы получимъ соотвѣтствующія значенія и для угловъ α—α_1, α_2, α_3, и т. д. Для удобства въ вычисленіяхъ, замѣнимъ числовые коэффиціенты буквенными:

$$c = 0{,}000016153$$
$$d = 416$$

тогда формула (XII) принимаетъ видъ:

$$P = c\,(V + d)\,V^2.\alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (XIII)$$

откуда

$$\alpha = \frac{P}{c\,(V + d)\,V^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (XIV)$$

Примемъ $P_1 = 1$, $P_2 = 2$, $P_3 = 3$,...... $P_n = n$ килограммамъ; тогда получимъ для угловъ α слѣдующую группу выраженій:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{c\,(V+d)V^2} \\ \alpha_2 &= \frac{2}{c\,(V+d)V^2} \\ \alpha_3 &= \frac{3}{c\,(V+d)V^2} \\ &\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \\ &\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \\ \alpha_n &= \frac{n}{c\,(V+d)V^2} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (XV)$$

Величины α полученныя такимъ образомъ, будутъ соотвѣтствовать угламъ встрѣчи плоскости въ 1 кв. метръ, обладающей подъемной силой въ 1, 2, 3 . . . n килограммовъ, при одной и той же скорости движенія V.

Разсмотримъ первое уравненіе изъ группы (XV) т. е.:

$$\alpha_1 = \frac{1}{c\,(V+d)V^2}$$

Если въ этомъ уравненіи величинѣ V, которая у насъ была принята раньше за постоянную, будемъ придавать послѣдовательно различныя значенія: $V = 5$, 10, 15, 20, 25, 30 метровъ въ секунду, то получимъ для α_1, шесть послѣдовательныхъ величинъ, которыя и помѣстимъ въ первомъ столбцѣ приложенной таблицы (C), противъ соотвѣтствующихъ значеній V отъ 5 до 30 метровъ.

Изъ сравненія величинъ α въ группѣ уравненій (XV) видно, что α_2 будетъ равно $2\alpha_1$ при однихъ и тѣхъ же условіяхъ скорости V. Подобнымъ образомъ имѣемъ:

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= 3\alpha_1 \\ \alpha_4 &= 4\alpha_1 \\ &\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \\ &\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \\ \alpha_n &= n\alpha_1 \end{aligned}$$

А такъ какъ въ первомъ столбцѣ таблицы (C) даны величины α_1 при скоростяхъ V отъ 5 до 30 метр., то для полученія величинъ α_2, α_3....α_8 при тѣхъ же скоростяхъ, слѣдуетъ величины перваго столбца соотвѣтственно умножить на числа 2, 3 . . . . 8. Эти вновь полученныя величины помѣщены во II, III . . . столбцахъ упомянутой таблицы (C).

Эта таблица намъ даетъ, слѣдовательно, величины угловъ α при скоростяхъ V, возрастающихъ отъ 5 до 30 метровъ, при подъемной силѣ летателя, въ 1 кв. метръ поверхности, измѣняющейся отъ 1 до 8 килограммовъ.

Вычислимъ теперь работу, затрачиваемую летателемъ, обладающимъ поверхностью въ 1 кв. метръ и вѣсъ котораго измѣняется отъ 1 до 8 килограммовъ при скоростяхъ, возрастающихъ отъ 5 до 30 метровъ въ секунду, для каждаго изъ отдѣльныхъ типовъ этихъ летателей.

Для этихъ вычисленій воспользуемся формулой (XI).

Таблица С.

V	P=1	P=2	P=3	P=4	P=5	P=6	P=7	P=8	V
5	α_1=5° 52′ 55″	α_2=11° 45′ 50′	α_3=17° 38′ 45″	α_4=23° 31′ 40″	α_5=29° 24′ 35″	α_6=35° 17′ 30″	α_7=41° 10′ 35″	α_8 -47° 3′ 20″	5
10	„ **1° 27′ 11″**	„ **2° 54′ 22″**	„ 4° 21′ 33″	„ 5° 48′ 44″	„ 7° 15′ 55″	„ 8° 42′ 6″	„ 10° 10′ 17″	„ 11° 37′ 28″	10
15	„ 0° 38′ 18″	„ 1° 16′ 36″	„ **1° 54′ 54″**	„ 2° 33′ 12″	„ 3° 11′ 30″	„ 3° 49′ 48′	„ 4° 28′ 6′	„ 5° 6′ 24″	15
20	„ 0° 21′ 18″	„ 0° 42′ 36″	„ 1° 3′ 54″	„ **1° 25′ 12″**	„ **1° 46′ 30″**	„ **2° 7′ 48″**	„ 2° 29′ 6″	„ 2° 50′ 24″	20
25	„ 0° 13′ 28″	„ 0° 26′ 56″	„ 0° 40′ 24″	„ 0° 53′ 52″	„ 1° 7′ 20″	„ 1° 20′ 48″	„ **1° 34′ 16″**	„ **1° 47′ 44″**	25
30	„ 0° 9′ 15″	„ 0° 18′ 30″	„ 0° 27′ 45″	„ 0° 37′ 0″	„ 0° 46′ 15″	„ 0° 55′ 30″	„ 1° 4′ 45	„ 1° 14′ 0″	30

Таблица D.

V	P=1	P=2	P=3	P=4	P=5	P=6	P=7	P=8	V
5	T_1= 0.53423	T_2= 2·10177	T_3= 4·79072	T_4= 8·72699	T_5= 14·11158	T_6= 21·25389	—	—	5
10	„ **0·40461**	„ **1·16624**	„ 2·44309	„ 4·22184	„ 6·52530	„ 9·33402	—	—	10
15	„ 0·67326	„ 1·17471	„ **2·01073**	„ 3.18175	„ 4·68835	„ 6.53126	T_7= 8·71099	—	15
20	„ 1·31972	„ 1·69264	„ 2·31122	„ **3·17890**	„ **4·29474**	„ **5·65892**	„ 7·27160	T_8= 10·12720	20
25	„ 2·42885	„ 2·72266	„ 3·21271	„ 3·89787	„ 4·77954	„ 5·85715	„ **7·13030**	„ **9·38498**	25
30	„ 4·10327	„ 4·34544	„ 4·74906	„ 5·31414	„ 6·04071	„ 6·92878	„ 7.97830	„ 9·83562	30

Въ этомъ уравненіи, для полученія величины работы $T_1, T_2 \ldots T_n$ при выше разсматриваемыхъ условіяхъ, замѣнимъ первый членъ выраженія T, т. е. $P.Tg\alpha$, соотвѣтствующими величинами:

$$\begin{array}{l} P_1 . Tg\ \alpha_1 \\ P_2 . Tg\ \alpha_2 \\ P_3 . Tg\ \alpha_3 \\ \ldots \\ \ldots \\ \ldots \end{array}$$

полученными на основаніи таблицы (С).

Затѣмъ, замѣняя числовые коэффиціенты буквенными,

$$a = 0{,}000148$$
$$b = 0{,}0000295$$

получимъ выраженія работы:

$$\left.\begin{array}{l} T_1 = V\ (P_1.Tg\alpha_1 + a.V^2 + b.V) \\ T_2 = V\ (P_2.Tg\alpha_2 + a.V^2 + b.V) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \ldots\ldots \quad (XVI)$$

Числовыя величины, полученныя для T_1, T_2, T_3 и т. д. при послѣдовательныхъ скоростяхъ V отъ 5 до 30 метровъ для каждаго изъ T, составятъ новую таблицу (D), совершенно аналогичную съ таблицею (С). Итакъ, таблица (С) даетъ намъ величины угловъ встрѣчи, а таблица (D) число килограммометровъ работы, затраченной для развитія подъемной силы въ 1,2,3 . . . . . 8 килограммовъ, при поверхности=1 кв. метру и скорости, измѣняющейся отъ 5 до 30 метровъ въ секунду.

Взглянувъ на таблицу (D), мы видимъ, что въ каждомъ изъ ея послѣдовательныхъ столбцевъ, величина T сначала уменьшается, а затѣмъ дойдя до извѣстнаго минимума, опять возрастаетъ. Далѣе видимъ, что этотъ минимумъ при увеличеніи значенія T, а слѣдовательно и P, соотвѣтствуетъ все большимъ и большимъ скоростямъ, т. е. чѣмъ больше возрастаетъ количество груза поднимаемаго летателемъ въ 1 кв. метръ поверхности, тѣмъ болѣе увеличивается скорость, при которой происходитъ минимумъ работы.

Сравнивая таблицы (D) и (С), мы замѣчаемъ, что каждый изъ минимумовъ въ таблицѣ (D) соотвѣтствуетъ величинѣ угла α, колеблющейся отъ 1^0 до 2^0. Въ таблицахъ (С) и (D) эти цыфры подчеркнуты.

Для того чтобы болѣе осязательно выразить соотношеніе между угломъ α и минимумомъ работы, изобразимъ графически уравненія (XVI). Откладываемъ на оси x-овъ абсциссы, пропорціональныя скоростямъ 5, 10, 15, 20, 25, 30 метровъ, и черезъ полученныя такимъ образомъ на оси x-овъ точки A, B, C, D, ... проведемъ ординаты, длина которыхъ получается изъ таблицы (D), послѣдовательно изъ каждаго столбца;

(смотри черт. 1-ый въ концѣ текста), такъ что длины AA_1, BB_1, CC_1.... и т. д. пропорціональны величинамъ T_1 перваго столбца таблицы (D) при скоростяхъ V, возрастающихъ отъ 5 до 30 метровъ и величинѣ $P=P_1$, т. е. 1 килограмму.

Такимъ образомъ получилась кривая $A_1B_1C_1$ . . . . . и т. д., которая есть графическое изображеніе уравненія плоской кривой:

$$T_1=V\ (P_1.Tg\frac{P_1}{c\,(V+d)\,V^2}+a.V^2+b.V)$$

здѣсь P_1 постоянная величина=1; абсциссы выражаютъ перемѣнныя скорости V, а ординаты—работы T_1.

Подобнымъ образомъ, пользуясь таблицей (D), построимъ кривыя

$A_2\,B_2\,C_2$ . . . . .
$A_3\,B_3\,C_3$ . . . . .
. . . .
. . . .
. . . .

тутъ P, послѣдовательно, принимаетъ значенія 2, 3, 4, . . . 8 килограммовъ.

Всѣ эти кривыя выражаются аналитически общимъ уравненіемъ:

$$T=V\left(P.Tg\frac{P}{c\,(V+d)\,V^2}+a.V^2+b.V\right)\ .\ .\ .\ .\ .\ (XVII)$$

выведеннымъ изъ сочетанія уравненій (XI) и (XIII).

Изъ чертежа видно, что каждая изъ этихъ кривыхъ имѣетъ минимумъ для T. Чтобы опредѣлить этотъ минимумъ аналитически въ общей формѣ, слѣдовало-бы въ уравненіи (XVII) взять первую производную выраженія T по измѣняемости V, считая P постояннымъ, а затѣмъ, приравнивая эту производную нулю, изъ полученнаго уравненія ($T'=O$) вывести величину V въ функціи отъ коэффиціентовъ a, b, c, d, и отъ постоянной P, что и опредѣлить намъ искомую α. Но такъ какъ при этомъ получается форма функціи трансцендентальная, преобразовать которую въ алгебраическую невозможно, то вмѣсто аналитическаго опредѣленія минимума приходится вычислять для каждой изъ кривыхъ минимальныя величины M посредствомъ интерполяціи Полученныя такимъ образомъ величины V, соотвѣтствующія минимальнымъ значеніямъ T, подставимъ въ уравненіе:

$$\alpha=\frac{P}{c\,(V+d)\,V^2}$$

и получимъ величину угла α для каждой изъ кривыхъ $A_1\,B_1\,C_1$ . . . . $A_2\,B_2\,C_2$ . . . . $A_3\,B_3\,C_3$ . . . при которой работа T есть минимумъ.

Весьма замѣчателенъ тотъ фактъ, что при T минимумъ величина угла α для всѣхъ кривыхъ одна и таже: $\alpha = 1^0 50' 45''$. Отсюда прямо вытекаетъ слѣдующій законъ: **для всѣхъ летателей, работающихъ въ наивыгоднѣйшихъ условіяхъ при горизонтальномъ полетѣ, уголъ встрѣчи не зависитъ ни отъ скорости, ни отъ поверхности летателя, ни отъ поднимаемаго груза, но есть величина постоянная** и равная$=1^0 50' 45''$.

Во всѣхъ этихъ опредѣленіяхъ мы пользовались формулою (V) и хотя эта формула приближенная, но въ данномъ случаѣ результатъ получился весьма близкій къ истинѣ, такъ какъ при повѣркѣ этого результата посредствомъ точной формулы (IV) получается для α одна и та же величина.

Если теперь въ уравненіи (XVII) замѣнимъ P его выраженіемъ

$$P = c\,(d + V)\,V^2.\alpha$$

то получимъ уравненіе вида:

$$T = V\ [c\,(d + V)\,V^2.\,\alpha.Tg\alpha + a.\ V^2 + b.V]$$

а отсюда, произведя умноженіе и группировку, получимъ:

$$T = c.\ \alpha.Tg\alpha.V^4 + (a + d.c.\alpha.Tg\alpha)\ V^3 + b.V^2. \quad . \quad . \ (XVIII)$$

Въ послѣднемъ уравненіи всѣ коэффиціенты при разныхъ степеняхъ V суть величины постоянныя, т. е. цыфровыя; уголъ α, а слѣдовательно и $Tg\alpha$ для минимумъ T, есть тоже величина постоянная на основаніи только что сказаннаго; значитъ α и $Tg\,\alpha$ тоже цыфровые коэффиціенты. Это уравненіе выражаетъ кривую MMM.... проходящую черезъ всѣ точки минимумовъ кривыхъ $A\,B_1\,C_1$ . . . ; $A_2\ B_2\,C_2$ . . ; и т. д., слѣдовательно, эта кривая выражаетъ отношеніе минимальной работы къ скорости движенія всякаго летателя, имѣющаго поверхность$=1$ кв. метру, обладающаго вѣсомъ P, измѣняющимся отъ 0 до ∞.

Подставивъ числовыя величины коэффиціентовъ этого уравненія получимъ:

$$T=0{,}0000096088\ V^4+0{,}0005477261\ V^3+0{,}0000295\ V^2. \quad . \quad . \quad . \ (XIX)$$

Очевидно, что эта кривая проходитъ черезъ начало координатъ, такъ какъ при

$$V=0,\ T=0.$$

Такимъ же образомъ, вставляя величину $\alpha = 1^0 50' 45''$ въ уравненіе (XIII), которому можно придать видъ

$$P = c.\alpha.V^3 + c.d.\alpha.V^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \ (XX)$$

получимъ

$$P = 0{,}000029816\,V^3+0{,}01240345\ V^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \ (XXI)$$

Это уравненіе опредѣляетъ при различныхъ скоростяхъ подъемную силу, а слѣдовательно и вѣсъ летателя, котораго поверхность=1 кв. метру, Иначе говоря, это уравненіе опредѣляетъ скорость V, съ которою летатель обязательно долженъ двигаться по горизонтальному направленію чтобы, при вѣсѣ P, удерживаться на воздухѣ.

Если раздѣлимъ выраженіе T изъ уравненія (XVIII) на выраженіе P изъ уравненія (XX), то получимъ, послѣ соотвѣтствующихъ упрощеній и сокращеній:

$$\frac{T}{P} = V.Tg\alpha + \frac{a}{c.\alpha} - \frac{d.a - b}{c.\alpha(V + d)}$$

или же, вставляя соотвѣтствующіе числовые коэффиціенты:

$$\frac{T}{P} = 0{,}0323391\ V + 4{,}963781457 - \frac{2058{,}9331}{V + 416} \ldots\ldots \text{(XXII)}$$

Это уравненіе выражаетъ работу, расходуемую на килограммъ вѣса летателя, въ функціи отъ скорости.

При графическомъ изображеніи этого послѣдняго уравненія *) получается *почти* прямая линія, проходящая *почти* черезъ начало координатъ; но такъ какъ естественно она должна пройти, *какъ разъ* черезъ начало координатъ, то эту погрѣшность должно приписать тому обстоятельству, что наша формула составлена изъ разнородныхъ коэффиціентовъ, взятыхъ, какъ мы видѣли выше, изъ эмпирическихъ данныхъ Дюшемена, Фроуда, Кампеньяка, Морена и другихъ.

Такимъ же образомъ можно объяснить несовершенную прямолинейность этой кривой, и еслибы коэффиціенты были вполнѣ точны, то, весьма вѣроятно, полученная линія была бы строго прямолинейна, т. е. $\frac{T}{P}$ было, бы прямо пропорціонально V. Впрочемъ и при не точныхъ коэффиціентахъ погрѣшность такъ незначительна, что мы вправѣ формулировать слѣдующій законъ: *работа, затраченная на единицу вѣса летателя, прямо пропорціональна скорости полета, необходимой для поддержанія летателя на воздухѣ*; т. е. можемъ написать уравненіе: $\frac{T}{P} = A.V$, въ которомъ A есть постоянный коэффиціентъ. Для опредѣленія A изъ уравненія (XXII), вычислимъ рядъ частныхъ значеній для $\frac{T}{P}$, давая V различныя величины отъ 1 до 30 метровъ. Раздѣляя полученныя числовыя значенія на соотвѣтствующія скорости, получимъ рядъ величинъ для A, среднюю ариѳметическую которыхъ и примемъ за общій коэффиціентъ. Такимъ образомъ получается:

$$\frac{T}{P} = 0{,}0437538\ V \ldots\ldots\ldots \text{(XXIII)}$$

*) См. чертежъ 2-ой въ концѣ текста.

Обозначимъ $\frac{T}{P}$, т. е. величину работы на килограммъ летателя черезъ t; тогда

$$t = 0,0437538\ V$$

Если обѣ части этого уравненія раздѣлимъ на V, то получимъ:

$$\frac{t}{V} = 0,044$$

Но $\frac{t}{V}$ есть ничто иное, какъ сопротивленіе, претерпѣваемое каждымъ килограммомъ летателя, а это показываетъ, что каждый килограммъ какого-бы то ни было летателя претерпѣваетъ одно и тоже сопротивленіе при всѣхъ скоростяхъ, обусловливающихъ *его нормальный полетъ.* Нормальнымъ полетомъ мы называемъ горизонтальный полетъ, совершаемый въ наивыгоднѣйшихъ условіяхъ утилизаціи двигателя. Далѣе означимъ черезъ $\mathcal{P}$ число килограммовъ летателя, т. е. его общій вѣсъ, а черезъ r сопротивленіе $\frac{t}{V}$; умноживъ теперь обѣ части послѣдняго уравненія на $\mathcal{P}$, получимъ:

$$r.\mathcal{P} = 0,044\ \mathcal{P}$$

Но $r.\mathcal{P}$ есть очевидно все сопротивленіе, встрѣчаемое летателемъ; откуда слѣдуетъ, что горизонтальное сопротивленіе, претерпѣваемое летателемъ при нормальномъ полетѣ, составляетъ извѣстную долю его вѣса.—Назовемъ $r.\mathcal{P}$ черезъ $\mathcal{R}$, тогда:

$$\mathcal{R} = 0,044\ \mathcal{P}$$

Далѣе, умноживъ обѣ части уравненія на соотвѣтствующую нормальному полету скорость V, получимъ:

$$\mathcal{R}.V = 0,044\ \mathcal{P}.V$$

$\mathcal{R}.V$ есть ничто иное, какъ затраченная летателемъ работа $\mathcal{T}$, слѣдовательно,

$$\mathcal{T} = 0,044 P.V \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (XXIV)$$

зная вѣсъ летателя и скорость его нормальнаго полета, мы можемъ немедленно опредѣлить затрачиваемую имъ работу. Замѣнимъ теперь $\mathcal{P}$ выраженіемъ $M.g$, въ которомъ M есть масса летателя, а g ускореніе силы тяжести равное 9,81 метр., получимъ:

$$\mathcal{T} = 0,044 M.g.V$$

или

$$\mathcal{T} = M.V.\ 0,43$$

Поэтому можемъ сказать, что работа летателя всегда составляетъ извѣстную часть его количества движенія.

Эти интересные выводы показываютъ совершенную своеобразность законовъ, управляющихъ полетомъ птицъ.

Разсмотримъ теперь уравненіе (XXI). Какъ мы видѣли, P означаетъ вѣсъ летателя, въ одинъ кв. метръ поверхности. Если черезъ S обозначимъ поверхность, необходимую для поддержанія 1 килограмма летателя, то, очевидно,

$$S = \frac{1}{P} = \frac{1}{0,000029816V^3 + 0,01240345V^2} \quad \ldots\ldots\ldots (XXV)$$

И такъ уравненіе (XIX) даетъ намъ **работу, затрачиваемую на единицу поверхности летателя,** въ функціи отъ его скорости, а уравненіе (XXI)— **вѣсъ летателя, поддерживаемый единицей той же поверхности,** въ функціи отъ той же скорости. Уравненія же (XXII) и (XXV) даютъ намъ первое—**работу на единицу вѣса**, а второе—**поверхность на ту же единицу вѣса,** въ функціи все той-же скорости.

Вотъ основныя четыре уравненія, которыя связываютъ между собой всѣ элементы нормальнаго полета.

Всѣ эти четыре уравненія изображены графически на чертежѣ 2-мъ. По оси x-овъ отложены скорости, а ординаты выражаютъ: для одной кривой—работу на единицу поверхности, для другой—работу на единицу вѣса, для третьей—вѣсъ на единицу поверхности, а для четвертой—поверхность на единицу вѣса. Такъ какъ у кривыхъ абсциссы общія, то, проводя черезъ какую-либо точку, избранную на любой кривой, ординату, пересѣкающую всѣ кривыя, получаемъ сразу всѣ четыре элементы нормальнаго полета, для скорости, соотвѣтствующей проведенной ординатѣ. Ординаты всѣхъ этихъ кривыхъ, вычисленыя точно по формуламъ, помѣщены въ таблицѣ (E) *) противъ соотвѣтствующихъ скоростей V.

Разсматривая эту таблицу, равно какъ и самыя кривыя, мы видимъ, что чѣмъ больше приходится вѣса на единицу поверхности летателя, тѣмъ больше должна быть скорость полета для поддержанія его на воздухѣ. Иначе говоря, тяжелые летатели, обладающіе относительно малыми поверхностями, безусловно не могутъ медленно летать; напротивъ, легкіе летатели, обладающіе большою относительно поверхностью, могутъ летать съ меньшею быстротой. Это имъ не мѣшаетъ, однако, въ случаѣ надобности, ускорять свой полетъ, но при непремѣнномъ условіи уменьшить относительную поверхность, т. е. приблизиться къ типу вышеупомянутыхъ тяжелыхъ летателей, при чемъ, очевидно, увеличивается зарачиваемая работа.

---

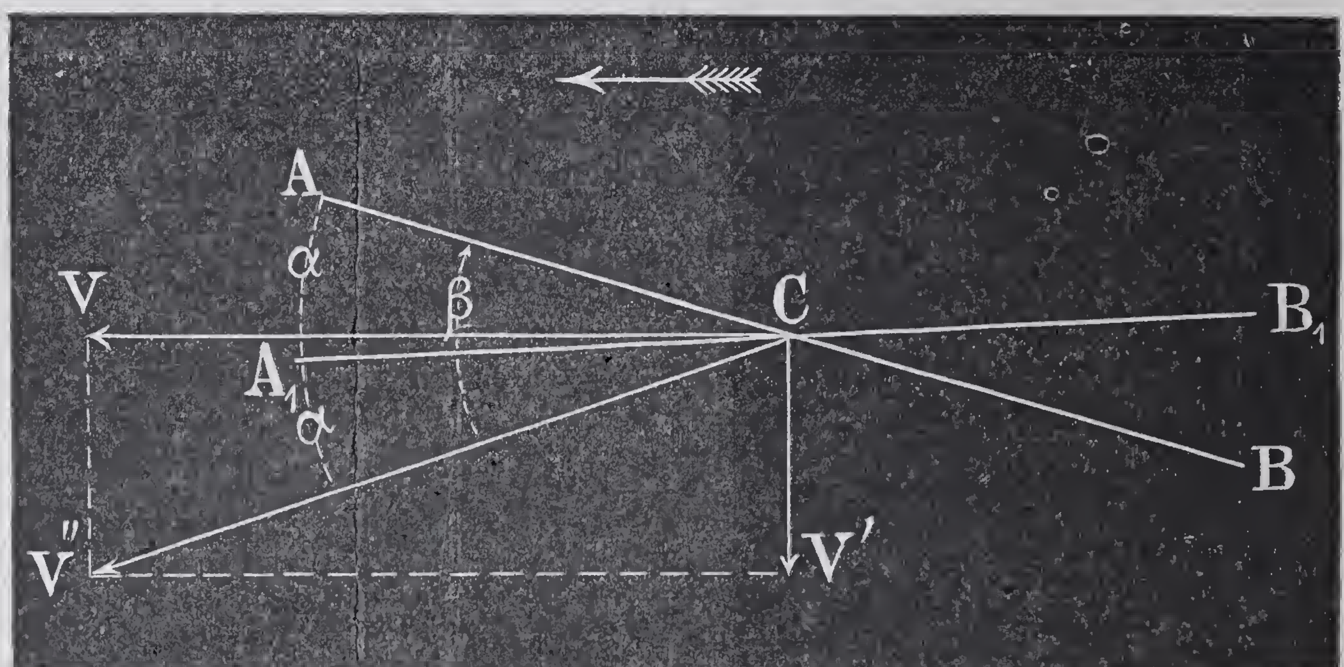
*) См. таблицу (E) въ концѣ текста.

Посмотримъ теперь до какой степени всѣ законы, которые мы вывели, основываясь лишь на теоретическихъ разсужденіяхъ, примѣнимы къ природнымъ летателямъ, т. е., говоря проще, на сколько оправдывается наше основное предположеніе, что птица есть ничто иное, какъ одушевленный аэропланъ.

У птицъ главной, дѣйствующей на подобіе аэроплана, поверхностью можно считать крыло. Оно представляетъ собою *не неподвижный*, а *складной* и *подвижный* аэропланъ.

Разсмотримъ его дѣйствіе во время полета.

Положимъ, напримѣръ, что птица перемѣщается горизонтально со скоростью V по направленію стрѣлки, какъ указано на чертежѣ, и что, въ то же время, линія AB представляетъ схематическое сѣченіе крыла, плоскостью параллельною діаметральной плоскости птицы. Діаметральною плоскостью называемъ, заимствуя это выраженіе у судостроителей, вертикальную плоскость, проходящую черезъ продольную ось птицы и раздѣляющую ее на двѣ симетрическія половины. Въ моментъ наблю-

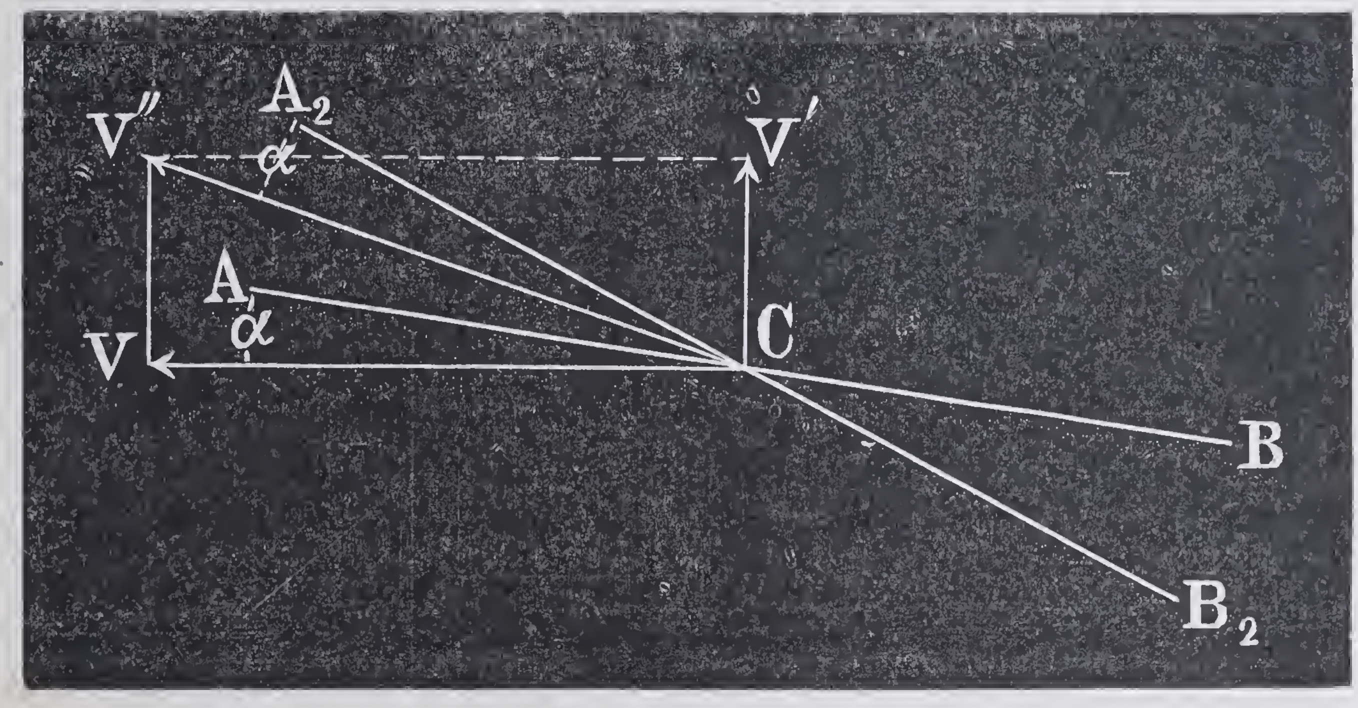


денія линія AB образуетъ нѣкоторый уголъ α съ направленіемъ полета V, которое, при неподвижномъ положеніи крыла, и есть направленіе относительнаго вѣтра; слѣдовательно, пока взмахъ крыла еще не начался, сопротивленіе воздуха будетъ завѣсѣть отъ встрѣчи его неподвижныхъ частицъ съ плоскостью AB, движущейся со скоростью V и образующей съ направленіемъ движенія нѣкоторый уголъ α.

При теоретическомъ разсмотрѣніи аэроплановъ мы видѣли, что результатомъ такого рода условій, является нѣкоторая подъемная сила, равная вѣсу летателя, при горизонтальномъ полетѣ, для чего требуется затрата нѣкоторой работы движителя. Если законы полета основываются, дѣйствительно на принципахъ аэроплана, то условія угла α должны сохраняться неизмѣнно и во время взмаха. Когда крыло опускается, то любая точка его, напр. C, перемѣщаясь, одновременно—вертикально со скоростью V′, вслѣдствіе взмаха и—горизонтально со скоростью V, вслѣд-

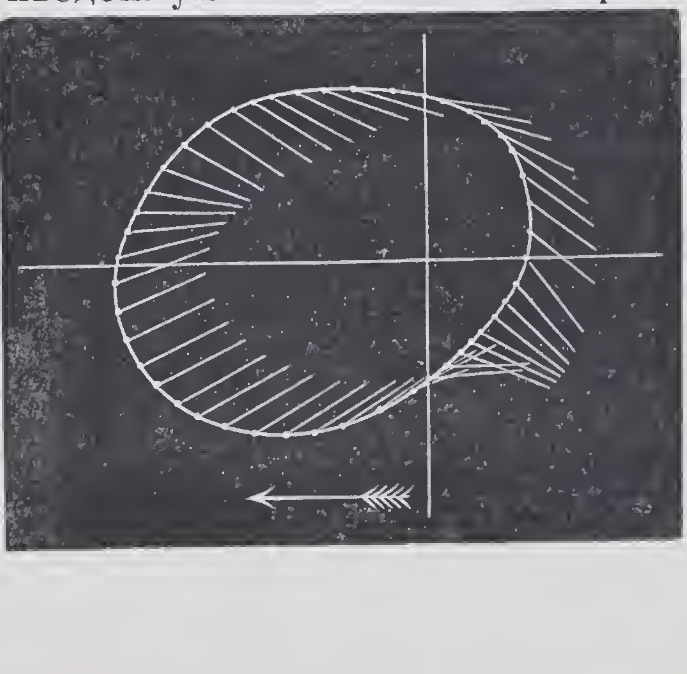
ствіе поступательнаго движенія птицы, будетъ дѣйствительно перемѣщаться по равнодѣйствующей V″ этихъ двухъ движеній и встрѣчать воздухъ по этому новому направленію, которое съ линіей AB образуетъ уже не уголъ α, а уголъ β. Слѣдовательно, т. к. направленіе VC″ есть новое направленіе относительнаго вѣтра къ плоскости AB, то, очевидно, что для сохраненія первоначальныхъ условій сопротивленія, т. е. подъемной силы и затраченной работы, необходимо, чтобы линія AB приняла новое положеніе A_1B_1, образуя съ направленіемъ C′V′ опять тотъ же уголъ α. Отсюда вытекаетъ, что во время опусканія крыла оно должно наклониться переднимъ ребромъ внизъ.

Такимъ же образомъ легко убѣдиться на слѣдующемъ чертежѣ, что во время подъема крыла, отъ слагающихся скоростей V и V′ является опять равнодѣйствующая V″, опредѣляющая направленіе новаго относительно вѣтра, вслѣдствіе чего линія AB должна принять положеніе A_2B_2



для того, чтобы уголъ α сохранился. Иначе говоря, во время подъема крыло должно поворачиваться въ обратную сторону, переднимъ ребромъ вверхъ.

Эти измѣненія положенія крыла при взмахѣ, являющіяся необходимымъ результатомъ нашихъ теоретическихъ предположеній и суть именно тѣ, которыя, столь остроумно, съумѣлъ уловить профессоръ Маре. Дѣйствительно, если бросимъ взглядъ на приведенную изъ сочиненія Маре *) діаграмму послѣдовательныхъ положеній сѣченія крыла (нашей линіи AB), то легко убѣдимся, что мы имѣемъ полное право считать наши предположенія оправданными. Далѣе, если для каждаго изъ послѣдовательныхъ положеній крыла, на чертежѣ Маре, мы опредѣлимъ направленіе каждаго изъ относительныхъ вѣтровъ, (равнодѣйствующую абсолютнаго движенія птицы впередъ — и движенія крыла), то мы убѣдимся, что



*) Marey. Machine animale. p. 273

уголъ α, образуемый каждымъ изъ отдѣльныхъ положенiй крыла, съ его относительнымъ вѣтромъ, будетъ одинъ и тотъ же и что этотъ уголъ весьма незначителенъ, какъ мы это доказали при разсмотрѣнiи теорiи аэроплановъ *).

Къ этому слѣдуетъ добавить, что вертикальныя скорости разныхъ точекъ крыла, при взмахѣ, измѣняясь въ зависимости отъ ихъ разстоянiя къ оси вращенiя крыла и слагаясь, съ одной и той же поступательною скоростью V, образуютъ цѣлый рядъ равнодѣйствующихъ V'' которыя, тѣмъ болѣе отклоняются отъ горизонта, чѣмъ ихъ разстоянiя отъ оси вращенiя увеличиваются. Изъ этого слѣдуетъ, что послѣдовательныя паралельныя сѣченiя крыла, считая отъ начала крыла къ его окопечности должны, для того чтобы образовать съ соотвѣтствующимъ относительнымъ вѣтромъ V'' одинъ и тотъ же уголъ α, все болѣе и болѣе уклоняться отъ горизонта и такимъ образомъ представлять собою скрученную винтообразную поверхность. Это скручиванье поверхности крыла, констатировано Маре, а также другимъ англiйскимъ ученымъ Петтигрю, который въ особенности придаетъ большое значенiе этому скручиванiю, приписывая, па этомъ основанiи, крылу функцiю гребнаго винта.

До сихъ поръ, мы исключительно, разсматривали крылья, какъ единственную аэропланную поверхность, доставляющую птицѣ подъемную силу. Но не слѣдуетъ забывать, что наравнѣ съ крыльями, хвостъ и вся нижняя поверхность тѣла птицы служатъ для той же цѣли, причемъ хвостъ представляетъ собою, до извѣстной степени измѣняемый и только въ нѣкоторыхъ случаяхъ, подвижной аэропланъ; вся нижняя же часть тѣла играетъ роль постояннаго, неизмѣняемаго аэроплана, такъ что въ опредѣленiи поддерживающей птицу въ воздухѣ поверхности не слѣдуетъ принимать лишь однѣ поверхности крыльевъ, какъ это дѣлали Люси, Гартингъ, Иро-де-Вильневъ и самъ Маре, а всю проекцiю крыльевъ, въ совокупности съ тѣломъ птицы и хвостомъ, такъ сказать, площадь, которая была бы покрыта тѣнью птицы во время полета.

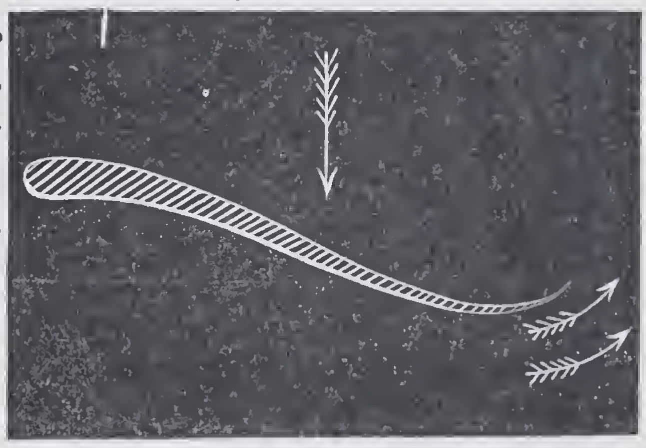
И такъ, основываясь на точныхъ опредѣленiяхъ, выведенныхъ изъ наблюденiй надъ положенiемъ крыла, мы находимъ вѣское подтвержденiе нашей теорiи. Дальше, при сравненiи цѣлаго ряда результатовъ изъ наблюденiй въ природѣ, съ нашими теоретическими выводами, мы убѣдимся еще болѣе въ непогрѣшности нашей гипотезы; но прежде чѣмъ приступить къ этому сравненiю, необходимо выяснить, откуда является у природныхъ летателей тотъ попутный импульсъ, на который единственно затрачивается работа движителя, такъ какъ онъ придаетъ птицѣ ту скорость движенiя, слѣдствiемъ которой является подъемная сила, поддерживающая ее на воздухѣ.

---

*) Нѣкоторыми наблюдателями этотъ уголъ былъ приблизительно опредѣленъ въ 3°; нами-же теоретически выведенъ для аэроплановъ въ 1° 50′ 45″.

Мы видѣли выше, при разсмотрѣнiи теорiи Марe, что горизонтальная слагающая по направленiю движенiя R'', претерпѣваемаго крыломъ сопротивленiя, недостаточна, для приданiя птицѣ требуемой для полета скорости. Поэтому невольно является предположенiе о существованiи иного болѣе энергическаго двигателя.—Этимъ двигателемъ является опять же крыло или, лучше сказать, одна лишь часть крыла, а именно задняя и концевая его полоса, состоящая изъ упругихъ оконечностей длинныхъ перьевъ (pennes remiges); на чертежѣ эта часть отдѣлена линiей AB отъ части крыла, составляющей собственно аэропланъ. При взмахѣ крыла внизъ, концы упругихъ перьевъ перегибаются отъ давленiя встрѣчаемаго воздуха и, образуя наклонныя плоскости подъ значительными углами, отбрасываютъ воздухъ назадъ, на подобiе лопасти гребнаго винта, которая была бы составлена изъ поперечныхъ упругихъ пластинокъ и этимъ сообщаютъ птицѣ поступательное движенiе. Этотъ своеобразный винтъ имѣетъ то преимущество передъ обыкновенными гребными винтами, что шагъ его т. е. перегибъ перьевъ, не есть постоянный, а измѣняется съ силою взмаха, автоматически примѣняясь къ обстоятельствамъ. Усилiе, произведенное давленiемъ воздуха, передается крылу посредствомъ пружины, образованной концами согнутыхъ перьевъ. Жесткость концовъ перьевъ измѣняется также съ разстоянiемъ отъ центра вращенiя крыла, т. е. съ измѣненiемъ скорости, зависящей отъ этого разстоянiя, такъ что близъ центра вращенiя, перья болѣе гибкiя, при малыхъ скоростяхъ составляютъ тѣ же углы, что и концы болѣе жесткiя большихъ перьевъ при большихъ скоростяхъ.





Въ вѣрности вышеизложеннаго предположенiя можно наглядно убѣдиться посредствомъ слѣдующаго опыта. На длинной ниткѣ, прикрѣпленной къ потолку, подвѣшивается короткiй деревянный брусочекъ, изображающiй тѣло птицы; къ этому брусочку прикрѣпленъ снизу стержень съ небольшимъ грузикомъ на концѣ, для того, чтобы брусочекъ сохранялъ горизонтальное положенiе; по двумъ сторонамъ брусочка, посредствомъ маленькихъ шарнировъ, укрѣпляются легкiе деревянные рычаги, изображающiе собою костяной остовъ крыла; эти два рычага, вокругъ своихъ шарнировъ, могутъ подниматься и опускаться въ плоскости перпендикулярной продольной оси бруска, къ нижней части котораго прикрѣплена резиновая тяга; два свободные конца этой резинки укрѣп-

лены, вблизи шарнировъ, къ деревяннымъ рычагамъ, такимъ образомъ, что когда рычаги подымаются кверху, то резинки сильно натягиваются, когда же поднятые рычаги отпущены свободно, то они быстро устремляются внизъ, на подобіе опускающихся крыльевъ. На рычагахъ укрѣпляются легкія деревянныя рамы, обтянутыя тонкой матеріей. Рамы, укрѣпляются такъ, чтобы, когда рычаги находятся въ горизонтальномъ положеніи, поверхности матерій находились бы обѣ въ одной плоскости, образуя съ горизонтомъ (по направленію продольный оси бруска) небольшой уголъ, напр. отъ 6^0 до 10^0; въ этомъ положеніи обѣ обтянутыя матеріей поверхности представляютъ собою, какъ бы горизонтально распростертыя два крыла, переднія ребра которыхъ ниже заднихъ; при этомъ надобно замѣтить, что подобнаго рода крылья были бы лишены гибкихъ оконечностей перьевъ, такъ какъ матерія натянута на раму со всѣхъ сторонъ.

Для произведенія опыта рычаги слѣдуетъ приподнять кверху, натягивая, такимъ образомъ, резинки и перевязать ихъ другъ къ другу ниткой. Если теперь посредствомъ спички прожечь натянутую между рычагами нитку, то освобожденныя, такимъ образомъ, крылья, подъ усиліемъ натянутыхъ резинокъ быстро опускаются внизъ, но при этомъ не замѣчается никакого прыжка всего прибора впередъ.

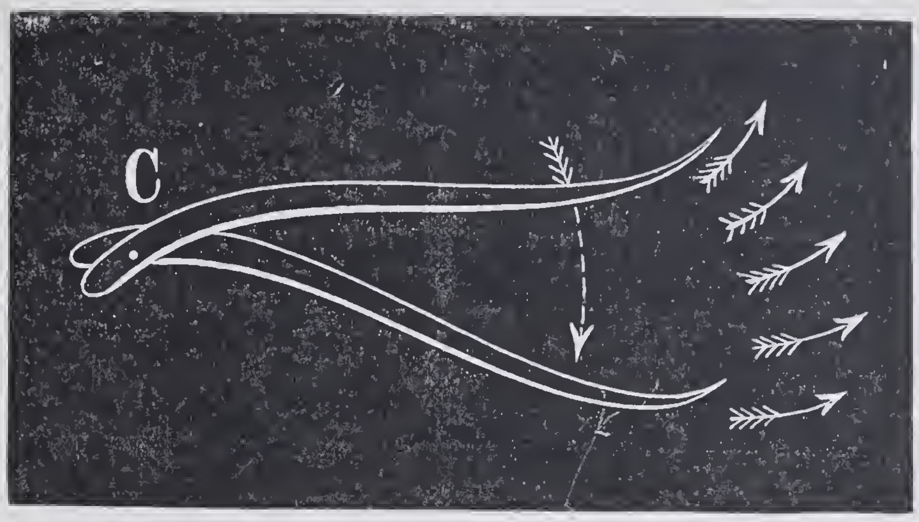
Если же теперь замѣнимъ первыя рамы другими, у которыхъ одна продольная сторона вынута и поперечныя концевыя стороны замѣнены тоненькими, весьма упругими деревянными планочками и кромѣ того, для большей упругости задней стороны поверхности, обтянутой матеріей, укрѣплены къ рычагамъ еще нѣсколько подобныхъ весьма упругихъ планочекъ, то при взмахѣ подобнаго рода крыла, одна сторона матеріи, параллельная къ рычагу, перегибается вслѣдствіе сопротивленія воздуха и представляетъ собою ту упругую часть крыла, о которой мы выше говорили и которая, по нашему мнѣнію, составляетъ двигатель, перемѣщающій птицу впередъ. При этомъ не надобно даже наклонять обѣ плоскости къ горизонту, но можно ихъ укрѣпить горизонтально на горизонтальныхъ рычагахъ. Если съ этими новыми крыльями повторить предъидущій опытъ, то легко убѣдиться, что въ моментъ опусканія этихъ крыльевъ, весь приборъ получаетъ весьма сильный толчекъ впередъ.

Этотъ простой опытъ подтверждаетъ вполнѣ вѣрность нашего предположенія.

У нѣкоторыхъ породъ птицъ жесткія перья въ оконечностяхъ крыла раздѣляются и образуютъ, такимъ образомъ, каждое само по себѣ, отдѣльные гребные винты, дѣйствіе которыхъ суммируется въ пользу попутнаго импульса.

Кромѣ этого постояннаго импульса, происходящаго во все время взмаха крыла, птица пользуется еще особымъ энергическимъ толчкомъ, происходящимъ отъ перемѣны плоскости крыла въ моментъ, когда оно достигло своего нижняго предѣльнаго положенія. Эта перемѣна уклона

имѣетъ двоякую цѣль: во первыхъ, какъ мы видѣли выше, приготовляетъ крыло къ встрѣчѣ подъ угломъ α относительнаго вѣтра при подъемѣ, а во вторыхъ, это скрученіе крыла вокругъ плеча въ точкѣ



С, заставляетъ быстро двинуться внизъ заднюю кромку крыла и этимъ быстрымъ движеніемъ сильно увеличиваетъ дѣйствіе гребной части его. Этотъ рѣзкій поворотъ плоскости крыла, французскіе ученые Овель, Люврiе и другіе называютъ „ударомъ хлыста" (coup de fouet). Толчекъ этотъ служитъ запасомъ живой силы, движущей впередъ, до слѣдующаго взмаха крыльевъ, хотя и вѣроятно, что во время подъема крыла оконечности перьевъ тоже перегибаются, но только въ меньшей степени и въ этомъ случаѣ еще играютъ роль гибкаго гребнаго винта.

Есть даже основаніе полагать, что пареніе птицъ, которое до сихъ поръ составляетъ вопросъ, неразрѣшенный наукой, можетъ быть объяснено этимъ поворотомъ крыла безъ взмаха. При пареніи наблюдатели не замѣчали, иногда даже въ теченіи нѣсколькихъ часовъ, ни одного взмаха крыломъ; еслибы взмахи существовали, то невозможно допустить, чтобы они прошли незамѣченными, но, естественно, что остались незамѣченными повороты плоскости крыла безъ взмаховъ.

И такъ, мы видимъ, что вся работа затраченная летателемъ служитъ лишь для того, чтобы привести въ дѣйствіе самую ничтожную часть крыла.

Здѣсь естественно является вопросъ, зачѣмъ-же птица машетъ крыльями, если эти взмахи не оказываютъ вліянія на величину силы поддерживающей ее на воздухѣ. И дѣйствительно, птица могла бы не махать крыльями и лишь распростирать ихъ, составляя требуемый уголъ съ горизонтомъ, если-бы это движеніе не было необходимо для дѣйствія второй, т. е. задней части крыла.

На первый взглядъ кажется страннымъ, отчего вся главная, преобладающая часть, крыла приводится въ непроизводительное движеніе, для того только, чтобы дать второй, сравнительно, ничтожной части возможность выполнять роль двигательнаго снаряда; но, вникнувъ

глубже въ вопросъ, мы видимъ, что это обстоятельство объясняется потребностью птицъ обладать, кромѣ двигательнаго снаряда, еще и извѣстною поверхностью, способною измѣнять свою величину по желанію летателя, согласно требованіямъ полета, или, иначе говоря, имѣть въ своемъ распоряженіи, въ помощь, такъ сказать, постоянному аэроплану, состоящему изъ туловища и хвоста, еще складной аэропланъ. Измѣняя положеніе этого складнаго аэроплана, птица перемѣщаетъ центръ давленія на его поверхность, относительно центра тяжести, что ей необходимо, какъ мы увидимъ, при подъемѣ и опусканіи,— и, наконецъ, складывая подвижной аэропланъ, птица получаетъ возможность совершенно убрать всю свою парусность во время пребыванія на землѣ. Еслибы этотъ аэропланъ существовалъ у птицъ отдѣльно отъ спеціально-двигательнаго снаряда, то каждой птицѣ понадобились-бы двѣ пары крыльевъ, изъ коихъ одна была-бы не гибкая и не машущая, хотя подвижная (складной аэропланъ), а другая—упругая и производящая взмахи (двигатель). Въ такомъ случаѣ каждое крыло потребовало-бы отдѣльнаго костянаго остова и отдѣльныхъ мышцъ, что, очевидно, обременило и усложнило-бы организмъ, а также нарушило-бы гармонію, существующую въ преобразованіи членовъ у позвоночныхъ.

Указанное раздѣленіе встрѣчается въ природѣ въ отдѣлѣ нѣкоторыхъ безпозвоночныхъ, именно у жесткокрылыхъ, въ отдѣлѣ жуковъ У этихъ насѣкомыхъ верхнія, жесткія крылья не производятъ взмаховъ во время полета, а служатъ, исключительно, складнымъ аэропланомъ, нижнія же крылья упруги и играютъ роль пропульсивнаго двигателя.

У разныхъ породъ птицъ форма крыла представляется весьма разнообразною: это зависитъ отъ отношенія указанныхъ двухъ частей, имѣющихъ отдѣльныя назначенія, но соединенныхъ въ одно—въ крылѣ. Слѣдовательно, эта форма обусловлена требованіями жизни и полетомъ птицъ; такъ, напримѣръ, птицы, которымъ приходится быстро летать для того, чтобы бороться съ сильными морскими вѣтрами, должны обладать, согласно вышесказанному, небольшою относительною поверхностью, но сильнымъ двигателемъ. Чтобы согласовать эти потребности въ одномъ и томъ же органѣ, природа снабдила подобнаго рода птицъ узкими, но длинными крыльями, въ которыхъ аэропланная часть представляетъ собою узкую лентообразную поверхность передняго ребра крыла, а вся задняя его часть, составленная изъ короткихъ, болѣе жесткихъ перьевъ, представляетъ собою длинную лопасть могучаго гребнаго винта. Типомъ этого рода птицъ могутъ служить альбатросы, фрегаты и подобныя имъ морскія птицы, которымъ приходится нерѣдко бороться съ сильными бурями. Наоборотъ, птицы, которыя имѣютъ надобность въ болѣе медленномъ полетѣ и которымъ приходится для высматриванія добычи парить на одномъ мѣстѣ въ спокойномъ воздухѣ, должны соединять въ своихъ крыльяхъ большую аэропланную поверхность съ болѣе слабымъ двигателемъ; поэтому крыло ихъ должно быть

широкое и, относительно, короткое. Примѣромъ этихъ послѣднихъ птицъ могутъ служить орлы, жаворонки; этого рода летатели не въ состояніи бороться съ очень сильными вѣтрами.

Далѣе мы видѣли, при теоретическомъ разборѣ вопроса, что чѣмъ большимъ вѣсомъ обладаетъ летатель относительно своей поверхности, тѣмъ быстрѣе долженъ онъ летать для того, чтобы сохранить свою подъемную силу. Дѣйствительно, если мы изъ приведенныхъ въ началѣ этой записки таблицъ Люси, Гартинга и Маре выпишемъ насѣкомыхъ и птицъ, послѣдовательно, по увеличивающемуся относительному вѣсу ихъ, т. е. по вѣсу приходящемуся на единицу поверхности, то увидимъ, что списокъ этотъ начнется съ медленно летающихъ насѣкомыхъ, какъ-то: комаровъ, бабочекъ и проч. Сопоставляя величины относительнаго вѣса этихъ летателей съ соотвѣтствующими величинами столбца P нашей теоретической таблицы (E), вычисленной для аэроплановъ, мы видимъ, что скорости этихъ летателей находятся въ предѣлахъ отъ 1 до 7 метровъ въ секунду. И дѣйствительно, какъ намъ извѣстно, большинство насѣкомыхъ обладаетъ незначительной скоростью полета, такъ что, при мало мальски свѣжемъ вѣтрѣ, они прячутся, не будучи въ состояніи бороться съ нимъ. Нѣкоторыя-же изъ насѣкомыхъ, именно отрядъ жесткокрылыхъ или жуковъ, обладаютъ, на оборотъ, довольно быстрымъ полетомъ; это происходитъ отъ того, что, верхнія жесткія и не производящія взмаховъ, крылья, которыя служатъ исключительно аэропланомъ, имѣютъ весьма незначительную поверхность относительно вѣса тѣла летателя; вторая же пара, т. е. гибкія крылья, представляющія собою большую поверхность, служатъ могучимъ двигателемъ, слѣдовательно, согласно нашему положенію, эти жуки и должны быстрѣе летать.

Въ сочиненіи Маре приведены таблицы съ вычисленіями, величинъ поверхностей крыльевъ и вѣса всего тѣла, для цѣлаго ряда птицъ; но такъ какъ въ этихъ таблицахъ помѣщены поверхности крыльевъ, а не проэкціи всего тѣла птицы съ ея хвостомъ, который наравнѣ съ крыльями служитъ птицѣ аэропланомъ, то мы, не считая ихъ дѣйствительно соотвѣтствующими истинѣ, не будемъ ими пользоваться. Другой же французскій наблюдатель Мульяръ, въ своемъ весьма интересномъ сочиненіи (L'Empire de l'air), собралъ цѣлый рядъ драгоцѣнныхъ данныхъ относительно вѣса и величины поверхности большаго числа птицъ. Въ его таблицахъ вычислены поверхности крыльевъ совокупно съ поверхностью тѣла и хвоста, вычислена, такъ сказать, площадь, которая была бы покрыта проекціей птицы во время полета. Это опредѣленіе поверхности т. е., общей, такъ сказать тѣни птицы, гораздо раціональнѣе.

Всѣ птицы изъ таблицы Мульяра вписаны нами въ особую таблицу (F) *)

*) См. таблицу (F) въ концѣ текста.

по порядку увеличенія вѣса птицы относительно ея поверхности, т. е., въ томъ же самомъ порядкѣ, въ какомъ вписаны послѣдовательно величины вѣса P, относительно единицы поверхности, въ теоретическую таблицу для аэроплановъ. Въ слѣдующемъ столбцѣ этой таблицы (F), противъ названія породы птицъ, внесены относительныя ихъ поверхности т. е. ихъ поверхность на единицу вѣса, аналогично столбцу S въ таблицѣ (E). Сопоставляя эти двѣ таблицы, мы видимъ, что вторая изъ нихъ (F), содержащая величины найденныя для птицъ, составляетъ какъ-бы часть общей теоретической таблицы (E), такъ что ее можно вставить цѣликомъ въ эту послѣднюю, между 4-ой цыфрой, соотвѣтствующей приблизительно скорости 7-ми метровъ въ 1 секунду, и 23-й цыфрой, соотвѣтствующей скорости въ 29 метровъ въ 1 секунду.

Изъ этого видно, что птицы, вписанныя въ таблицу (F), составляютъ одну часть летателей изъ общей теоретической таблицы. Если примѣнить выводы теоретической таблицы, къ таблицѣ птицъ, то эти послѣднія, вписанныя въ послѣдовательномъ порядкѣ въ таблицѣ (F), должны бы при нормальномъ полетѣ обладать скоростями, увеличивающимися отъ 7 до 29 метровъ въ секунду.

Разсмотримъ таблицу подробнѣе, чтобы убѣдиться, насколько оправдывается это предположеніе, наблюденіями. Списокъ птицъ начинается съ летучей мыши (Nyctinomus aegypticus), которая, какъ летучія мыши вообще, летаетъ медленно, производя при этомъ частые взмахи крыльями, на подобіе насѣкомыхъ; далѣе слѣдуетъ удодъ, (Upupa epops) бабочкообразный полетъ котораго всѣмъ извѣстенъ по своей медленности; затѣмъ слѣдуетъ береговой стрижъ (Cotyle rupestris), а мы знаемъ, что порода ласточекъ способна уменьшать быстроту своего полета по произволу до минимальной скорости, указанной въ таблицѣ; далѣе слѣдуетъ жаворонокъ дорожный (Galerita cristata), который, порхая по дорогамъ, нерѣдко провожаетъ ѣдущихъ, едва обгоняя бѣгущихъ рысью лошадей.

Вся эта группа птицъ отличается при полетѣ отсутствіемъ всякаго шума крыльевъ, который, напротивъ, весьма замѣтенъ у птицъ быстро летающихъ. Воробей (Passer domesticus) дальше помѣщается въ этой категоріи; и въ самомъ дѣлѣ нормальная скорость его полета соотвѣтствуетъ уже приблизительно 13-ти метрамъ въ секунду; но мы знаемъ, что онъ въ состояніи летать и скорѣе, тогда только ему приходится складывать назадъ крылья для уменьшенія своей относительной поверхности, также какъ и ласточкѣ. Дальше слѣдуютъ другія породы, скорость полета которыхъ постепенно увеличивается, но въ незначительной степени, т. е. всего на нѣсколько метровъ въ секунду. Большинство птицъ находится въ условіяхъ скорости полета отъ 14 до 19 метровъ. Между прочимъ мы здѣсь встрѣчаемъ и такихъ птицъ, которыя извѣстны необычайной быстротою своего полета въ нѣкоторыхъ случаяхъ; напр. соколъ (Falco peregrinus), который, согласно таблицѣ, обладаетъ при нормальномъ полетѣ скоростью въ 17 метровъ, во время же преслѣдованія добычи можетъ достигать скорости вдвое большей; но при этомъ онъ

значительно уменьшаетъ поверхность своихъ крыльевъ и хвоста, складывая свои крылья въ видѣ буквы М, между тѣмъ какъ, во время нормальнаго полета, онѣ совершенно распростерты, точно также какъ и хвостъ, который при нормальномъ полетѣ растопыренъ. Этого рода уменьшеніе поверхности, при увеличеніи скорости, мы можемъ наблюдать часто у птицъ живущихъ въ сосѣдствѣ съ человѣкомъ, напримѣръ, у голубей и ласточекъ. Далѣе въ таблицѣ идутъ все уже большія сравнительно, птицы—хищныя, водяныя, и списокъ оканчивается породами дикихъ утокъ, которыя, какъ всѣмъ извѣстно, представляютъ собою типъ самыхъ быстрыхъ летателей.

Изъ приведенныхъ наблюденій можно заключить, что скорости, выведенныя посредствомъ теоретическихъ соображеній въ таблицѣ (E), близко подходятъ къ дѣйствительности. Замѣтимъ, однако, что цыфры таблицы относятся спеціально къ нормальному полету, соотвѣтствующему минимально возможной скорости. Этого рода полетъ въ природѣ довольно рѣдко приходится наблюдать и поэтому провѣрка теоретическихъ данныхъ, посредствомъ наблюденій, затруднительна и не точна. Опредѣленіе скоростей полета птицъ сопряжено съ большими трудностями; во-первыхъ, невозможно заставить птицу летать нормальнымъ полетомъ, а, во-вторыхъ, птицѣ рѣдко приходится перемѣщаться въ совершенно спокойномъ воздухѣ. Даже перелеты птицъ, представляющіе собою самый совершенный видъ нормальнаго полета, и тѣ происходятъ во время вѣтра, такъ какъ птицы въ это время пользуются попутнымъ вѣтромъ для облегченія себѣ работы. Скорости же вѣтра вообще весьма значительны въ сравненіи со скоростью полета, поэтому ошибка при опредѣленіи скорости полета, происходящая отъ вліянія вѣтра, весьма значительна и мѣняется съ перемѣной направленія полета относительно направленія вѣтра.

Для уясненія вопроса о полетѣ было бы весьма желательно предпринять цѣлый рядъ опытовъ для возможно точнаго опредѣленія скорости нормальнаго полета, вѣса и поверхности разныхъ породъ летателей; кромѣ того, слѣдовало бы опредѣлить вѣсъ грудныхъ мышцъ и ихъ отношеніе къ общему вѣсу наблюдаемаго летателя. Это могло-бы послужить, во-первыхъ, для повѣрки общихъ законовъ, выведенныхъ нами теоретически, а во-вторыхъ, для опредѣленія работы, производимой единицею вѣса грудныхъ мышцъ.

Если принять мнѣніе нѣкоторыхъ авторовъ, что вѣсъ грудныхъ мышцъ составляетъ $^1/_6$ вѣса всего летателя, то, согласно нашимъ таблицамъ, работа на 1 килограммъ мышцъ измѣняется отъ 5 до 10 килограммометровъ. Если, съ другой стороны, принять, что одинъ килограммъ мышцъ (согласно опытамъ на нѣкоторыхъ породахъ птицъ) будетъ для всѣхъ породъ птицъ производить 5 килограммометровъ работы, то, на основаніи нашихъ таблицъ, отношеніе вѣса грудныхъ мышцъ къ вѣсу всего летателя должно мѣняться въ предѣлахъ: $^1/_{10}$ до $^1/_4$.

Вѣроятно, въ дѣйствительности, существуетъ что-то среднее между

этими двумя положеніями; т. е. у птицъ, обладающихъ болѣе быстрымъ нормальнымъ полетомъ, какъ относительный вѣсъ грудныхъ мышцъ къ общему вѣсу, такъ и работа, производимая единицею вѣса мышцъ, болѣе значительна, чѣмъ у медленныхъ летателей. Дѣйствительно, мы знаемъ, что, напримѣръ, у утокъ, которыя обладаютъ большею быстротою полета, грудныя мышцы чрезвычайно развиты и весьма сплочены.

Голландскій наблюдатель Гартингъ и послѣ него другіе, какъ Люси, Маре и Иро-де-Вильневъ предполагаютъ, на основаніи сравненія поверхностей крыльевъ и вѣса нѣкоторыхъ породъ птицъ, что отношеніе кубическаго корня изъ вѣса птицы къ квадратному корню поверхности крыльевъ есть величина постоянная. Маре объясняетъ этотъ фактъ тѣмъ обстоятельствомъ, что поверхности, подобныхъ другъ другу, геометрическихъ тѣлъ относятся между собою, какъ квадраты, а объемы и вѣса—какъ кубы ихъ сходственныхъ размѣреній. Это объясненіе было-бы справедливо, еслибъ, во-первыхъ, птицы дѣйствительно представляли собою тѣла геометрически подобныя другъ другу, во-вторыхъ, еслибъ принимаемая въ разсчетъ поверхность, была поверхностью дѣйствительно облекающею собою все тѣло птицы, а не одною только проекціею крыльевъ, какъ это принимаетъ Маре; наконецъ, еслибы полученныя такимъ образомъ цыфры, были дѣйствительно постоянно однѣ и тѣже, для всѣхъ породъ. На дѣлѣ же оказывается, что полученныя цыфры колеблятся значительно *). И дѣйствительно нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что существуетъ нѣкоторое постоянство въ получаемыхъ результатахъ, такъ какъ и прямое-то отношеніе цыфръ вѣса къ поверхности для разныхъ породъ птицъ мѣняется незначительно, какъ видно изъ таблицы (F); подавно, отношеніе корней этихъ величинъ будетъ мѣняться еще менѣе, а тѣмъ болѣе отношеніе кубическаго корня одной величины къ квадратному корню другой. Вотъ, по нашему, простое объясненіе, якобы законовъ Гартинга.

Еще одинъ вѣскій аргументъ въ доказательство того, что птицы представляютъ собою аэропланы. Если бы птицы поднимались съ земли, благодаря вертикальному сопротивленію воздуха, встрѣчаемому взмахами крыльевъ сверху внизъ, на подобіе весла въ водѣ, какъ утверждаютъ поклонники теоріи ортоптера, то является вопросъ, почему же птицы не поднимаются прямо вертикально, а требуютъ постепеннаго подъема и значительной пріобрѣтенной скорости? Фактъ извѣстный, что, для большихъ птицъ въ особенности, необходима, для поднятія ихъ съ земли,

*) См. Marey. La Machine Animale. Paris 1879. p. 234.

пріобрѣтенная скорость, которая ими достигается, или паденіемъ съ высокаго мѣста, или разбѣгомъ по землѣ и водѣ при помощи взмаховъ крыльями. Мы знаемъ тоже, что птицы не въ состояніи летать назадъ, что при ортоптерной теоріи было-бы имъ весьма легко. На югѣ Россіи не рѣдко дрофы, во время гололедицы, не въ состояніи пробѣжать по полю достаточно, чтобы достигнуть необходимой для взлета скорости, и крестьяне убиваютъ ихъ палками. Извѣстенъ также фактъ, что въ Америкѣ охотятся па кондоровъ, огораживая заборомъ небольшое пространство, въ серединѣ котораго привязываютъ приманку. Кондоръ обыкновенно схватываетъ добычу налету, но такъ какъ приманка привязана, то онъ долженъ остановиться и, теряя пріобрѣтенную паденіемъ скорость, принужденъ сѣсть на землю для того, чтобы овладѣть добычею; но тутъ его и ожидаетъ гибель: коль скоро кондоръ сѣлъ въ центрѣ такого огороженнаго пространства, онъ никакъ не можетъ болѣе взлетѣть, такъ какъ по всѣмъ направленіямъ заборъ мѣшаетъ ему достаточно разбѣжаться по землѣ для достиженія нужной скорости.

Всѣ охотники знаютъ, что подстрѣленная утка, у которой ноги перебиты, не въ состояніи подняться съ воды и ищетъ спасенія, ныряя. Также—обыденный фактъ, что птицы съ перевязанными ногами не могутъ подняться съ земли, потому что, ни въ томъ, ни въ другомъ случаѣ, онѣ не могутъ разбѣгомъ или прыжкомъ достигнуть необходимой скорости для подъема. Извѣстенъ также въ домашнемъ обиходѣ пріемъ, обрѣзывать птицамъ концы крыльевъ для того, чтобы лишить ихъ возможности улетѣть; такимъ образомъ, птица лишается пропульсивнаго органа и хотя, сброшенная съ высокаго мѣста, она и въ состояніи на распростертомъ аэропланѣ своихъ крыльевъ опуститься на землю безъ малѣйшаго для себя вреда, но, не обладая болѣе возможностью поддерживать скорость, необходимую для полета, она находится въ полной невозможности самостоятельно улетѣть дальше. Находимъ излишнимъ утомлять читателя дальнѣйшимъ перечисленіемъ общеизвѣстныхъ примѣровъ, доказывающихъ одну неоспоримую истину, что для полета необходима скорость.

При теоретическомъ разсмотрѣніи вопроса мы видѣли: что скорость полета летателя находится въ прямой зависимости отъ его, относительной къ вѣсу, поверхности и что летатели, снабженные большей поверхностью, относительно ихъ вѣса, въ состояніи болѣе медленно летать, между тѣмъ какъ птицы, обладающія меньшей поверхностью, должны летать съ большей скоростью, для того чтобы удержаться на воздухѣ. Поэтому, если уподобить птицу аэроплану, то вышеизложенное отношеніе должно являться для нихъ необходимостью, если же ихъ разсматривать съ точки зрѣнія ортоптерной теоріи, то нѣтъ никакого повода для этой зависимости. Между тѣмъ, ежедневное наблюденіе намъ доказываетъ, что эта зависимость существуетъ въ природѣ.

Всѣмъ, мало-мальски интересующимся вопросомъ летанія, извѣстно, что коль скоро птица подымается съ земли, (слѣдовательно не достигла

еще своей нормальной скорости полета), то она распростираетъ свои крылья до максимума и вмѣстѣ съ тѣмъ распускаетъ хвостъ въ видѣ вѣера, для того чтобы, при недостаточной еще скорости полета, пользоваться возможно большей поддерживающей поверхностью. Какъ только нормальная скорость полета достигнута, что происходитъ послѣ небольшаго числа взмаховъ крыльями, то птица немедленно складываетъ хвостъ и приводитъ крылья къ среднему нормальному размѣру, регулируя, такимъ образомъ, всю свою аэропланную поверхность къ нормальнымъ условіямъ, для того чтобы получить максимальную утилизацію своего движителя, какъ мы это и показали при разборѣ вопроса съ теоретической точки зрѣнія.

Въ случаѣ же, когда птица, по какой либо причинѣ, желаетъ увеличить быстроту своего полета, то она достигаетъ этого, уменьшая поверхность крыльевъ, складывая ихъ немного назадъ въ видѣ буквы M причемъ она обязательно должна увеличить работу своихъ грудныхъ мышцъ, для того чтобы, при уменьшенной аэропланной поверхности и увеличенной скорости, быть въ состояніи удержаться на воздухѣ. Этого рода пріемы можемъ легко наблюдать у голубей и ласточекъ, такъ какъ они живутъ, такъ сказать, почти въ обществѣ человѣка. У хищныхъ птицъ также эти измѣненія поверхности весьма обычны; когда этого рода птицы медленно кружатся въ воздухѣ, либо парятъ для высматриванія добычи, то они распускаютъ всю свою парусность, когда же имъ приходится гнаться за добычей, то, складывая немного крылья назадъ и сжимая хвостъ, они уменьшаютъ свою поверхность, (даже иногда на половину), и такимъ образомъ, достигаютъ большихъ скоростей.

Соколиные охотники, для увеличенія быстроты полета своихъ птицъ нерѣдко привязываютъ къ ногамъ ихъ небольшіе грузики, чѣмъ уменьшаютъ отношеніе поверхности къ вѣсу летателя и увеличиваютъ быстроту полета.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ излишекъ парусности, вмѣсто пользы, приноситъ летателю вредъ, такъ какъ это обстоятельство не даетъ ему возможности летать во время сильныхъ вѣтровъ. Поэтому весьма немногія птицы способны держаться на воздухѣ во время бури. Чтоже касается насѣкомыхъ, поверхность которыхъ весьма значительна относительно ихъ вѣса, то онѣ, даже и при маломъ вѣтрѣ, не въ силахъ покинуть своего убѣжища и летать. Мульяръ, въ своемъ сочиненіи „L'empire de l'air", описываетъ весьма картинно борьбу орла съ сильнымъ штормомъ, уносившимъ его въ море. Орелъ, поверхность крыльевъ котораго довольно значительна относительно его вѣса, напрасно дѣлалъ всѣ усилія, распуская крылья во всю величину ихъ, чтобы летѣть къ землѣ,—ничто не помогало; каждый разъ, когда онъ распускалъ для взмаха крылья, сильный вѣтеръ мгновенно подхватывалъ его и подбрасывалъ вверхъ на значительную высоту и, не смотря на отчаянное сопротивленіе, вѣтеръ все дальше и дальше уносилъ его въ море, пока, наконецъ, изнуренный орелъ, не догадался, складывая крылья назадъ,

уменьшить свою парусность и на этомъ уменьшенномъ аэропланѣ преспокойно спустился противъ вѣтра, по весьма отлогой наклонной плоскости, къ землѣ.

Однимъ изъ самыхъ важныхъ факторовъ при полетѣ аэроплановъ, или же природныхъ летателей,—есть сохраненіе равновѣсія; это равновѣсіе должно сохраняться по двумъ направленіямъ.

1) Поперечное равновѣсіе, т. е. въ плоскости перпендикулярной направленію движенія.

2) Продольное т. е. по направленію движенія.

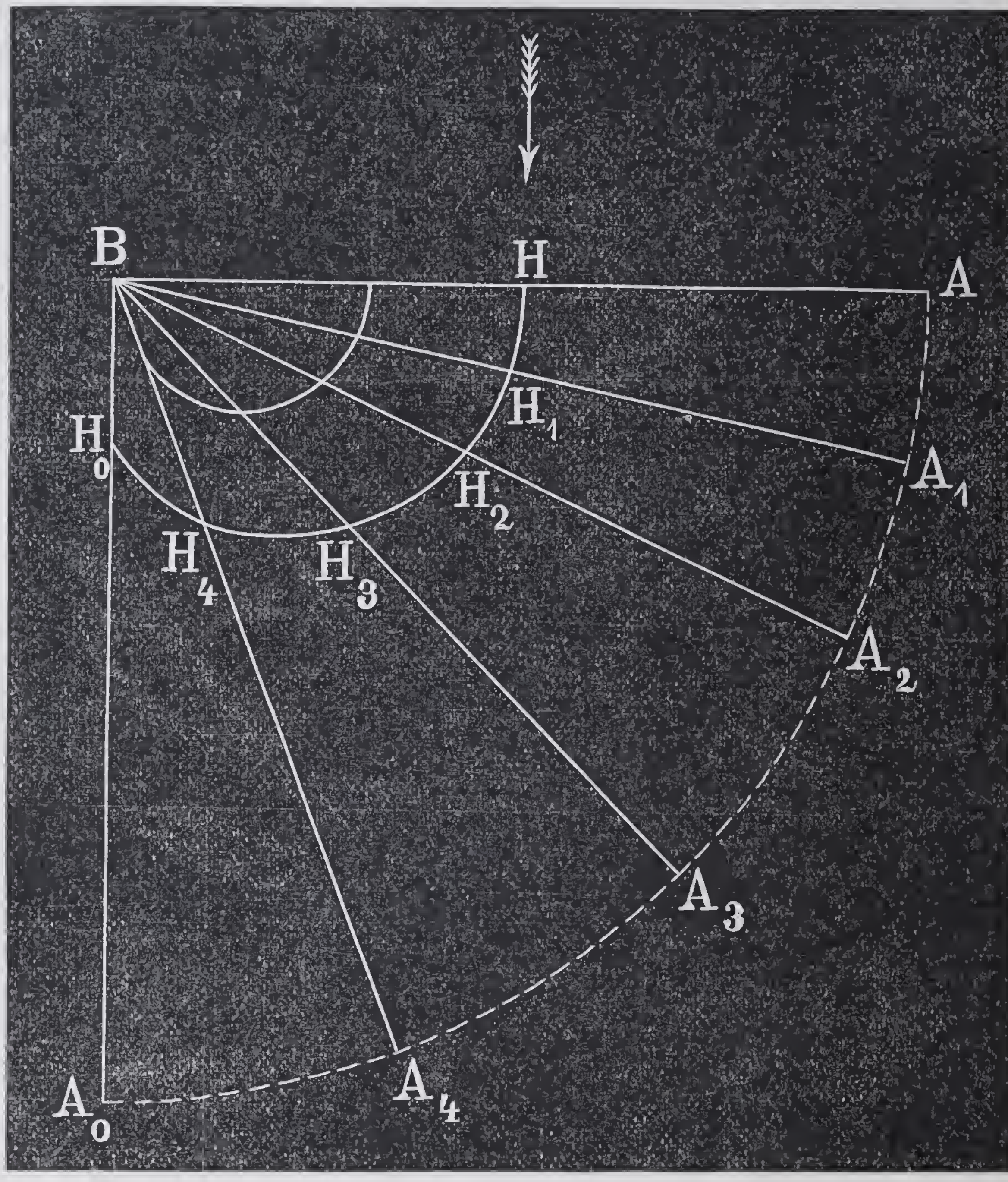
Мы увидимъ дальше, что нарушеніе перваго изъ этихъ двухъ равновѣсій влечетъ за собою поворотъ летателя въ ту сторону, въ которую перемѣщается центръ тяжести, относительно центра спротивленія, поэтому летатель долженъ сознательно, для сохраненія прямолинейнаго направленія полета, сохранить это равновѣсіе, что не составляетъ для него ни малѣйшаго затрудненія.

Что же касается продольнаго равновѣсія, то на первый взглядъ этотъ вопросъ кажется гораздо болѣе затруднительнымъ, такъ какъ, измѣненіе условій этого равновѣсія, влечетъ за собою измѣненія въ направленіи полета въ вертикальной плоскости, которыя могутъ заставить летателя либо упасть на землю, либо опрокинуться назадъ, но мы сейчасъ увидимъ, что сами законы сопротивленія воздуха даютъ намъ простое рѣшеніе этой сложной задачи, доставляя летателю автоматическій регуляторъ для сохраненія продольнаго равновѣсія.

Давно уже было извѣстно, что положеніе центра сопротивленія наклонной плоскости, подвергнутой давленію встрѣчаемаго ею потока, измѣняется съ измѣненіемъ угла встрѣчи, что при встрѣчѣ нормальной онъ совпадаетъ съ центромъ фигуры плоскости, но что по мѣрѣ того, какъ плоскость образуетъ съ направленіемъ движенія углы все меньшіе и меньшіе, центръ сопротивленія перемѣщается все ближе и ближе къ краю, который находится впереди, не переходя однако извѣстнаго предѣльнаго положенія. Аванцапи, Дюшеменъ, Тибо, Жоессель производили опыты для опредѣленія этого отношенія положенія центра сопротивленія къ углу встрѣчи. Жоессель, *) въ особенности, вывелъ изъ своихъ очень простыхъ и точныхъ опытовъ, слѣдующее заключеніе. Если плоскость ВА встрѣчаетъ потокъ, идущій по направленію стрѣлки, то, во первыхъ, положеніе центра сопротивленія Н, не зависитъ отъ скорости потока, во вторыхъ, при нормальной встрѣчѣ онъ будетъ находиться въ точкѣ Н на половинѣ разстоянія АВ или $\frac{L}{2}$. Если плоскость АВ будемъ поворачивать вокругъ оси В, то центръ Н будетъ перемѣщаться въ H_1, H_2,

*) Memorial du génie maritime. 1870. Experiences de M. Joëssel.

Н3.... до H_0 по извѣстной правильной кривой, конецъ которой H_0 будетъ отъ В на разстояніи равномъ 0,2 L. Если на радіусахъ векторахъ ВН3, ВН2, ВН1... откладывать отъ точекъ Н, Н1, Н2, Н3... величины, равныя BH_0, т. е. 0,2.L, то кривая, соединяющая, такимъ образомъ полученныя точки, будетъ полуокружность; кривую перемѣщенія центра сопротивленія можно, слѣдовательно, выразить полярнымъ уравненіемъ, принимая точку В за начало координатъ:

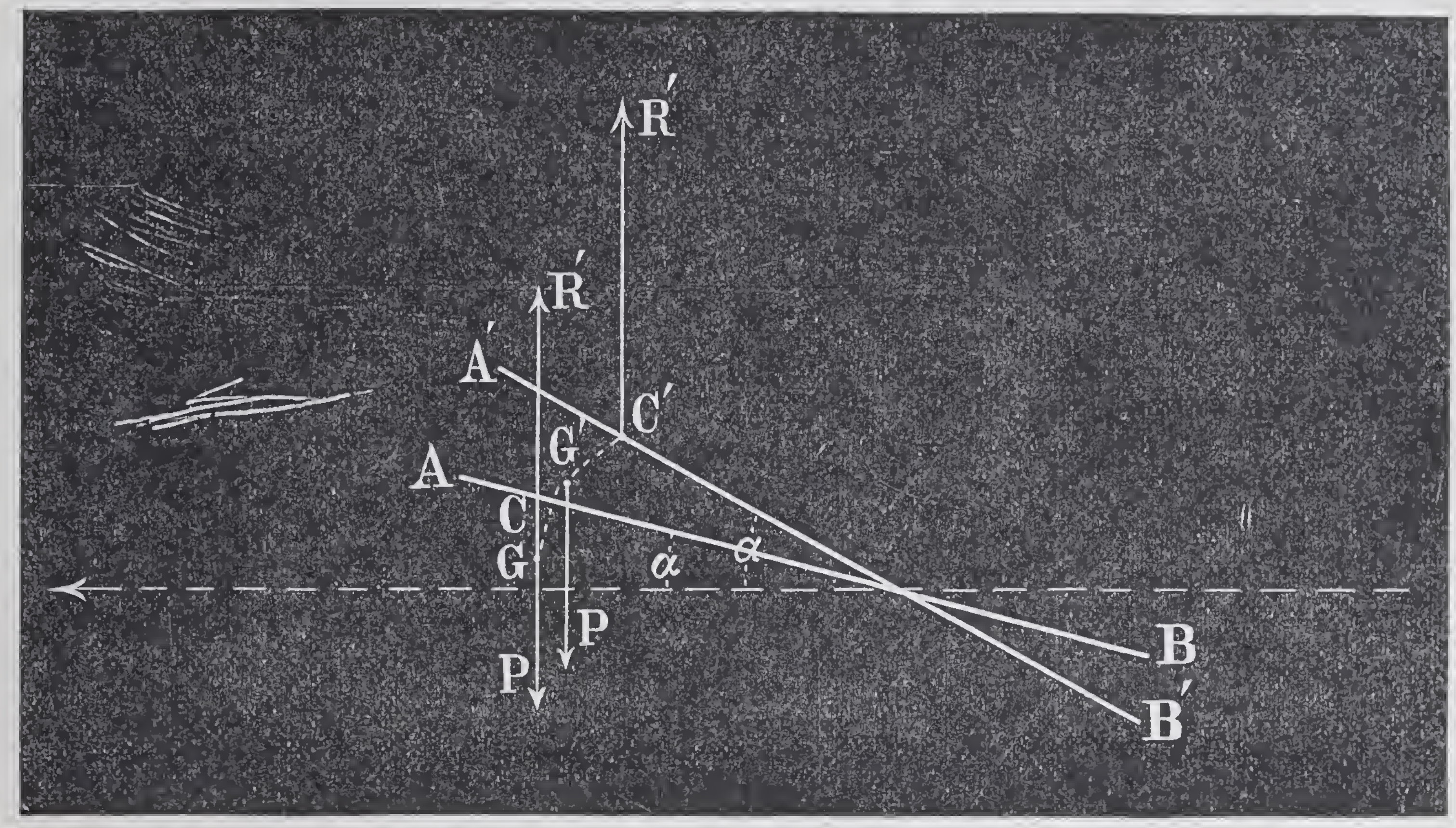


$$\rho = (0,2 + 0,3 \text{ Sin } \alpha) \text{ L}$$

Эта формула даетъ намъ очень удобный способъ опредѣлить центръ сопротивленія любаго аэроплана, въ разныхъ его положеніяхъ.

Разсмотримъ, какую роль играетъ этотъ законъ при полетѣ птицъ Положимъ, что птица или аэропланъ (что тождественно, согласно нашей теоріи) летитъ горизонтально, образуя съ горизонтомъ извѣстный уголъ α, который мы опредѣлили выше. Отъ формы плоскости и величины угла α зависитъ положеніе центра давленія, слѣдовательно, вышеупомянутыя условія опредѣляютъ положеніе этого центра. Для того, чтобы уголъ α сохранилъ свою величину, необходимо, чтобы центръ тяжести птицы или прибора находился на одной вертикальной линіи, проходящей черезъ центръ сопротивленія: иначе образуется пара силъ и свора-

чивающій моментъ. Если, по какой нибудь причинѣ, нарушится это динамическое равновѣсіе, т. е. центръ давленія C выйдетъ изъ вертикали, проходящей черезъ центръ тяжести G, то уголъ α уменьшится или увеличится; тогда, согласно вышеизложенному закону о перемѣщеніи центра сопротивленія, центръ этотъ передвинется впередъ или назадъ; такъ какъ съ другой стороны, центръ тяжести G останется въ преж-



немъ положеніи, то немедленно явится пара силъ и, слѣдовательно, возстановляющій моментъ, дѣйствіе котораго заставитъ уголъ α принять прежнюю свою величину, т. е. такую, при которой центры C и G будутъ опять на одной вертикальной линіи. Отсюда видно, что законъ перемѣщенія центра сопротивленія относительно центра тяжести даетъ птицамъ и аэропланамъ автоматическій регуляторъ для сохраненія динамическаго равновѣсія силъ P и R′ и сохраненія угла α. Этотъ драгоцѣнный для нихъ регуляторъ и есть возстановляющій моментъ, являющійся при перемѣнѣ положенія C относительно перпендикуляра, проходящаго черезъ G. Для увеличенія предѣловъ перемѣщенія центра давленія, а слѣдовательно и чувствительности естественнаго регулятора, которымъ служитъ возстановляющій моментъ, птицѣ помогаетъ хвостъ, который многіе неправильно считаютъ рулемъ для поворота. Хвостъ, удлиняя поверхность, дѣлаетъ перемѣщеніе центра C вдоль оси тѣла птицы болѣе значительнымъ, при малѣйшихъ измѣненіяхъ угла α.

Если разстояніе GC довольно значительно, такъ какъ скорость возвращенія центровъ къ прежнему положенію будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше это разстояніе, то и живая сила, развивающаяся при этомъ движеніи, будетъ тоже больше. Это заставитъ линію центровъ GC перейти предѣлъ вертикальнаго положенія, вслѣдствіе излишка живой силы и, такимъ образомъ, произойдутъ качанія въ родѣ качанія маятника— вредныя для полета; во избѣжаніе этого слѣдуетъ, по возможности,

стараться приближать C къ G. Подобныя колебанія можно иногда замѣтить у птицы, у которой висятъ прострѣленныя ноги, понижая, вслѣдствіе этого, центръ тяжести.

Отнятіе хвоста у птицы нисколько не мѣшаетъ ей летать, но уменьшаетъ только плавность полета, такъ какъ, вслѣдствіе уменьшенія продольной поверхности птицы, уменьшается чувствительность автоматически регулирующаго прибора; а такъ какъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, отъ уменьшенія поверхности должна увеличиваться скорость, то эти неправильности въ полетѣ, становятся еще болѣе замѣтными. При этихъ условіяхъ происходятъ измѣненія въ углахъ α и, согласно нашей теоріи, значительно измѣняется подъемная сила R', вслѣдствіе чего, лишенная хвоста птица, то поднимается, то опускается. Этими неправильностями полета и пользуются любители голубиной стрѣльбы для того, чтобы затруднить стрѣлковъ, выпуская изъ ящиковъ безхвостыхъ голубей.

Птица, которая желаетъ подняться вверхъ, во время горизонтальнаго полета, передвигая крылья впередъ, перемѣщаетъ впередъ центръ давленія относительно центра тяжести, такъ что центръ давленія находится тогда впереди отвѣса, проходящаго черезъ центръ тяжести. Немедленно является возстановляющій моментъ, (какъ мы это видѣли) который увеличиваетъ уголъ α до тѣхъ поръ, пока центры C и G не будутъ опять находиться на одной вертикали. Отъ этого увеличенія угла можетъ произойти или уменьшеніе скорости V при сохраненіи работы T, или увеличеніе работы T, при сохраненіи скорости V. Это зависитъ отъ желанія птицы, но въ томъ и другомъ случаѣ произойдетъ увеличеніе подъемной силы R' и птица должна подняться. Тоже самое произойдетъ при опусканіи птицы, но въ обратномъ порядкѣ.

Для крутыхъ подъемовъ обыкновенно птицы, чтобы не производить слишкомъ большихъ усилій, пользуются пріобрѣтенной скоростью отъ паденія. У нѣкоторыхъ птицъ пріемъ утилизированія запаса живой силы, пріобрѣтенной паденіемъ, составляетъ обычный способъ летанія, при которомъ онѣ производятъ непродолжительныя, но значительныя усилія мышцъ. Такимъ образомъ, онѣ въ короткое время, при большой затратѣ работы мышцъ, поднимаются на извѣстную высоту, съ которой низвергаются съ громадной быстротою, складывая даже крылья съ цѣлью уменьшить сопротивленіе (уничтожая такимъ образомъ ρ_1 и ρ_3), и, пользуясь пріобрѣтенной такимъ образомъ скоростью, поднимаются снова на распростертыхъ крыльяхъ.

Измѣненіе направленія полета у птицъ происходитъ вслѣдствіе перемѣщенія центра тяжести, относительно центра сопротивленія, на ту сторону, на которую птица желаетъ сдѣлать поворотъ. Птица достигаетъ этого, складывая немного то крыло, которое должно опуститься и, такимъ образомъ, уменьшаетъ парусность съ одной стороны, оставляя другое крыло вполнѣ вытянутымъ. Тогда взмахи пропульсивной части вытянутаго крыла, будучи энергичнѣе взмаховъ согнутаго, заставятъ птицу отклониться отъ прежняго направленія въ ту сторону, съ которой

попутные толчки слабѣе. Кромѣ того, такъ какъ діаметральная плоскость птицы при наклонѣ ея на бокъ, отклоняется тѣмъ болѣе отъ вертикальнаго положенія, чѣмъ наклонъ птицы больше, то уголъ α въ этой плоскости, постоянно будетъ увеличиваться вслѣдствіе того что подъемная сила R', дѣйствующая въ этой плоскости, болѣе неуравновѣшена всѣмъ вѣсомъ тѣла, и горизонтальная проекція, такимъ образомъ пройденной траэкторіи, будетъ представлять то, что моряки называютъ циркуляціей. Чѣмъ круче поворотъ, тѣмъ циркуляція меньше и тѣмъ діаметральная плоскость болѣе отклоняется отъ вертикальной. Бываютъ даже случаи, когда это отклоненіе доходитъ до горизонтальнаго положенія; такъ напр. случается видѣть ласточекъ, плоскость крыльевъ которыхъ при крутыхъ поворотахъ достигаетъ вертикальнаго положенія.

Когда птица желаетъ сѣсть на землю, то она, уменьшая уголъ α и прекращая работу двигателя, спускается по наклонной плоскости; но такъ какъ отъ этого паденія пріобрѣтается живая сила, то въ моментъ, когда птица должна коснуться земли, она, моментальнымъ перемѣщеніемъ центра тяжести и измѣненіемъ уклона крыльевъ, на сколько возможно увеличиваетъ уголъ α (иногда до 90^0) и вмѣстѣ съ тѣмъ, распуская хвостъ и поджимая его подъ себя, увеличиваетъ сопротивленіе движенію впередъ и, такимъ образомъ, поглощаетъ этимъ увеличеннымъ сопротивленіемъ, пріобрѣтенную паденіемъ излишнюю живую силу. Иногда птица дѣлаетъ это въ два или въ три пріема, когда пріобрѣтенная ею скорость слишкомъ велика.

Изложенная въ этой запискѣ теорія полета удовлетворяетъ, на нашъ взглядъ, всѣмъ должнымъ требованіямъ, такъ какъ на основаніи ея выводовъ возможно объяснить всѣ сложныя явленія полета и, указанные этой теоріей, факты оправдываются въ природѣ.

И такъ, резюмируя все вышесказанное, мы можемъ остановиться на слѣдующихъ положеніяхъ.

1) Птица представляетъ поверхностью своихъ крыльевъ, хвоста и тѣла одушевленный аэропланъ, величина плоскости котораго, вѣсъ, работа мышцъ, скорость полета, уголъ встрѣчи строго опредѣляются законами сопротивленія воздуха.

2) Органомъ, придающимъ этому аэроплану поступательное движеніе, служитъ главнымъ образомъ задняя упругая полоса крыла, которая дѣйствуетъ на подобіе гребнаго, гибкаго. винта.

3) Для того, чтобы этотъ аэропланъ могъ подняться съ земли, ему необходимо пріобрѣсти достаточную скорость, которой птица достигаетъ разбѣгаясь по землѣ, или падая съ высокаго мѣста.

4) Динамическое продольное равновѣсіе, или сохраненіе угла α, достигается автоматическимъ образомъ на основаніи закона перемѣщенія центра сопротивленія.

5) Повороты, поднятіе и опусканіе при полетѣ, происходятъ вслѣдствіе перемѣщенія центра сопротивленія относительно центра тяжести.

Вотъ основные законы, выведенные изъ теоретическаго разсмотрѣнія сопротивленія среды на наклонныя плоскости и примѣненные къ объясненію полета птицъ.

Къ сожалѣнію, мы должны замѣтить, что имѣемъ въ своемъ распоряженіи лишь весьма и весьма немного данныхъ, добытыхъ на основаніи наблюденій, какъ изъ области чистой теоріи, т. е. относительно сопротивленія воздуха на наклонныя поверхности, такъ и въ примѣненіи къ вопросу о полетѣ птицъ, т. е. относительно скоростей ихъ полета, вѣса, поверхности и т. п. Эта бѣдность фактовъ объясняется тѣмъ, что до настоящаго времени не былъ опредѣленъ дѣйствительный путь поисковъ, такъ какъ не имѣлось теоріи полета, которая, хотя приблизительно, объясняла-бы всѣ явленія этого послѣдняго. Всѣ же попытки объяснить полетъ птицъ посредствомъ сопротивленія воздуха, происходящаго отъ нормальныхъ ударовъ крыльями, не выдерживаютъ научной критики, ибо они влекутъ за собою выводы, къ которымъ пришли Навье и Борелли, т. е приводятъ къ баснословной, расходуемой птицами, работѣ. Другихъ теорій до настоящаго времени не существовало. Изъ наблюденій нѣкоторыхъ натуралистовъ хотя и видно, что эти наблюдатели, такъ сказать, чуяли истину, но по недостаточной научной подготовкѣ они не были въ состояніи изъ полученныхъ фактовъ вывести теоретическихъ законовъ. Для примѣра можно привести Мульяра; у этого наблюдателя все, что относится къ наблюденіямъ—весьма дѣльно, что же касается его теоретическихъ взглядовъ,—то они не могутъ быть даже серьозно разсматриваемы. Ко всему этому нужно прибавить, что опыты надъ сопротивленіемъ среды вообще, а воздуха въ особенности, чрезвычайно затруднительны и требуютъ большихъ денежныхъ расходовъ, по этому они очень немногимъ доступны. Наконецъ, попытки разрѣшить воздухоплаваніе, были направлены на совершенно ложный путь, благодаря злополучному изобрѣтенію Монгольфье воздушнаго шара, сто лѣтъ тому назадъ. Это изобрѣтеніе не только не содѣйствовало рѣшенію вопроса, но, напротивъ того,— отодвинуло его, по крайней мѣрѣ на сто лѣтъ.

Хотя наша теорія, подобно большинству ихъ, создана, такъ сказать, à priori, на основаніи лишь небольшаго числа фактовъ, но, такъ какъ она имѣетъ за собою большое вѣроятіе, ибо, во первыхъ, основные законы ея опираются на вычисленія, добытыя изъ опытовъ и, вовторыхъ ея теоретическіе выводы оправдываются на дѣлѣ, то ее можно принять пока, какъ вѣроятную гипотезу, которая достигнетъ степени закона если будетъ провѣрена большимъ числомъ наблюденій. Но уже въ томъ видѣ, въ какомъ эта теорія теперь представлена, она можетъ служить указателемъ направленія, по которому должны производиться необходи-

мыя изысканія. Основываясь на ея положеніяхъ, нетрудно предначертать программу опытовъ и наблюденій, и если эти послѣдніе оправдаютъ выше изложенные законы, то можно считать нашу теорію полета, правильной.

Тогда явится полная возможность проектировать на, ея основаніи, летательные снаряды, такъ какъ всѣ элементы ихъ: вѣсъ, поверхность, работу, скорость, сопротивленіе и проч. можно будетъ опредѣлить теоретически. Двигатели, производящіе требуемую работу при опредѣленномъ вѣсѣ, уже имѣются въ нашемъ распоряженіи; пропульсивный органъ можетъ состоять, подобно двигателю птицъ, изъ упругихъ гребныхъ винтовъ; продольное равновѣсіе получится автоматически, на основаніи сопротивленія воздуха, какъ мы то показали выше. Слѣдовательно, нетрудно, имѣя всѣ эти элементы проекта, сгруппировать ихъ разумно въ цѣлесообразное единое. Далѣе, безъ сомнѣнія, возможно уже будетъ построить проектируемый приборъ, при сравнительно небольшой затратѣ капитала, и послѣ раціональнаго испытанія его, явится для человѣка возможность овладѣть воздушнымъ океаномъ, наравнѣ съ его пернатами царями. Тогда человѣкъ, не смотря на всѣ земныя преграды, будетъ въ состояніи свободно переноситься съ мѣста на мѣсто, не нуждаясь въ заранѣе проложенныхъ путяхъ.

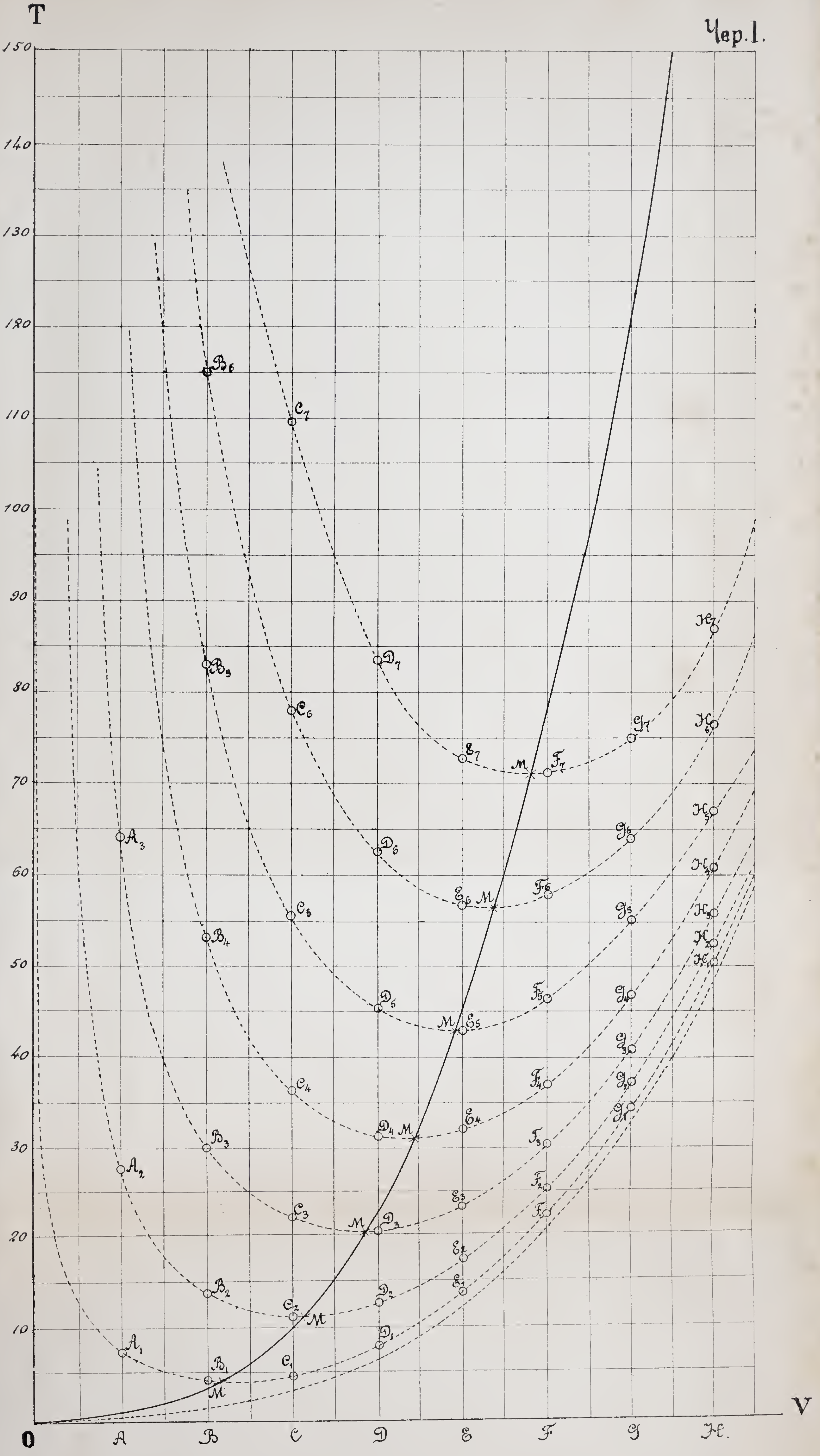
ТАБЛИЦА E.

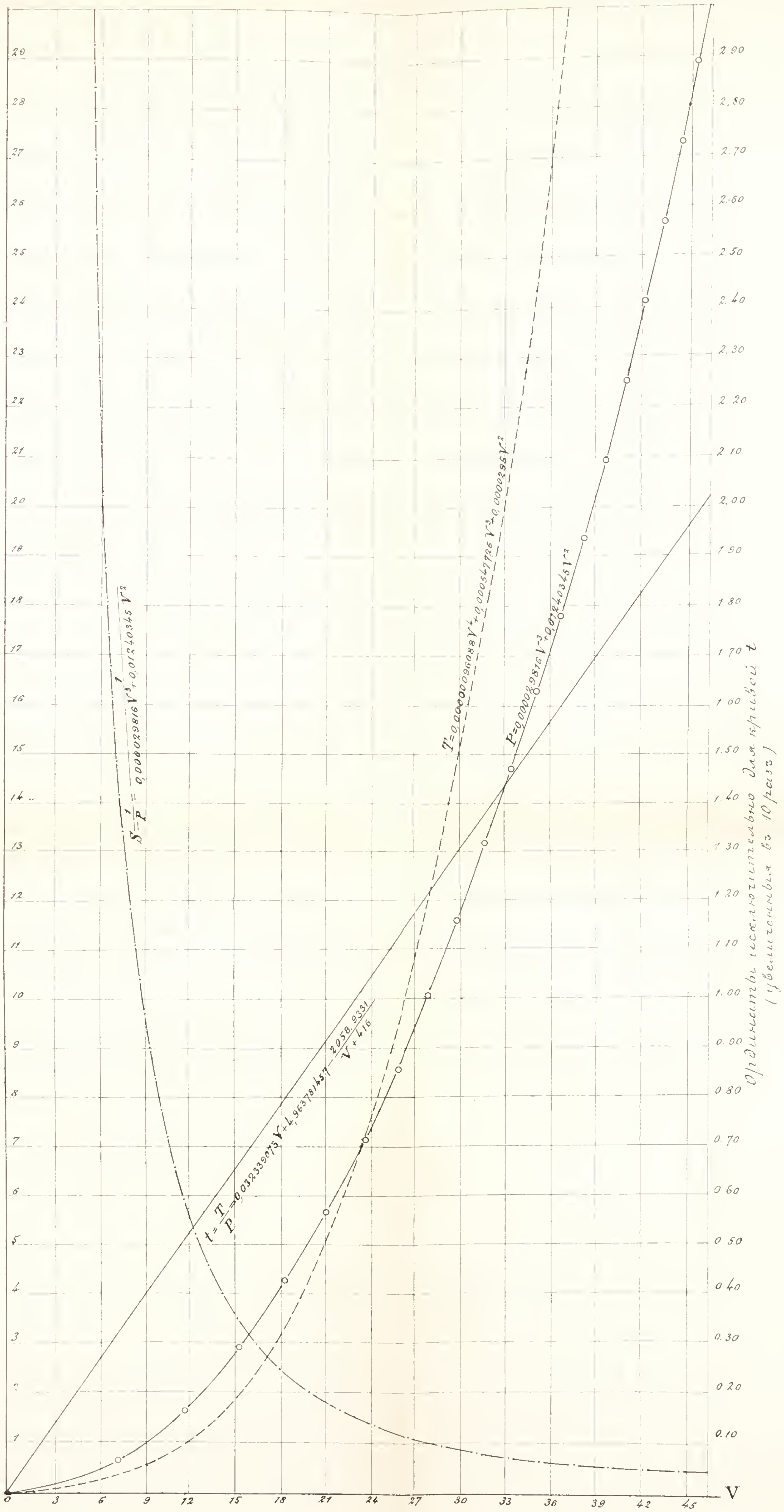
V	P	T	$t = \frac{T}{P}$	$S = \frac{1}{P}$
1	0,012381	0,000576	0,044295	80,769055
2	0,049643	0,004500	0,088531	20,143827
4	0.199522	0,035658	0,176832	5,011978
6	0,451061	0,120194	0,264909	2,216995
8	0,805687	0,285255	0,352766	1,241176
10	1,264824	0,558385	0,440405	0,790624
12	1,829897	0,967221	0,527830	0,546479
14	2,502332	1,541834	0.615042	0,399627
15	2,879255	1,897128	0,658571	0,347312
16	3,283553	2,305824	0,702047	0,304548
17	3,715404	2,769916	0,745472	0,269150
18	4,174986	3,293058	0,788845	0,239522
19	4,662477	3,878924	0,832168	0,214478
20	5,178056	4,531216	0,875441	0,193160
21	5,721900	5,253655	0,918664	0,174767
22	6,294188	6,049987	0,961836	0,158877
23	6,895097	6,923980	1,004960	0,145031
24	7,524806	7,879425	1,048034	0,132894
25	8.183494	8,920137	1,091060	0,122197
26	8,871337	10,050052	1,134038	0,112723
27	9,588515	11,272731	1,176967	0,104292
28	10,335205	12,592356	1,219851	0,096757
29	11,111586	14,012734	1,262684	0,089994
30	11,917836	15,537796	1,305470	0,083911
32	13,620654	18,917863	1,390905	0,073420
34	15,445085	22,794000	1,476155	0,064746
36	17,392553	27,109377	1,561445	0,057496
38	19,464485	31,985856	1,646111	0,051376
40	21,662304	37,426659	1,730882	0,046163

ТАБЛИЦА F.

№	НАЗВАНІЯ.	S	P
1	*Nyctinomus aegypticus.* (Видъ летучихъ мышей) .	1·568	0·637
2	*Upupa epops.* (Обыкновенный удодъ)	0·744	1·291
3	*Cotyle rupestris.* (Береговой стрижъ)	0·744	1·291
4	*Budytes flava.* (Желтая плиска)	0·695	1·438
5	*Galerita cristata.* (Хохлатый жаворонокъ), самецъ	0·652	1·533
6	*Caprimulgus.* (Козодой или ночница)	0·650	1·538
7	*Galerita cristata.* (Жаворонокъ хохлатый) . . .	0·628	1·592
8	*Accipiter nisus.* (Ястребъ-перепелятникъ). . . .	0·614	1·631
9	*Pteropus Geoffroyi.* (Видъ летучихъ мышей) . . .	0·572	1·718
10	*Coracias garrulus.* (Сивоворонка)	0·566	1·766
11	*Tringa canutus.* (Исландскій куличекъ)	0·541	1·848
12	*Falco tinnunculus.* (Пустельга)	0·508	1·968
13	*Passer domesticus.* (Воробей), самецъ	0·496	2·016
14	*Vanellus cristatus.* (Чибисъ).	0·494	2·024
15	*Passer domesticus.* (Воробей)	0·484	2·066
16	*Cypselus apus.* (Стрижъ)	0·482	2·073
17	*Larus melanocephalus.* (Черноголовая чайка) I. .	0·481	2·079
18	*Glareola torquata.* (Тиркушка).	0·476	2·097
19	*Larus melanocephalus.* (Черноголовая чайка) II .	0·471	2·123
20	*Turtur aegypticus.* (Египетская горлица)	0·466	2·133
21	*Otus brachyotus.* (Болотная сова)	0·463	2·156
22	*Strix flammea.* (Желтая сова)	0·462	2·160
23	*Milvus aegypticus.* (Египетскій коршунъ)	0·449	2·226
24	*Petrocincla cyanea.* (Синеватень—видъ дроздовыхъ)	0·446	2·242
25	*Alcedo hispida.* (Зимородокъ голубой) I	0·433	2·309
26	*Тоже.* II	0·432	2·314
27	*Buphus minutus.* (Чепура-волчекъ)	0·413	2·421
28	*Scolopax gallinula.* (Гаршнепъ)	0·401	2·493
29	*Ephialtes zorca.* (Сова малютка)	0·389	2·570
30	*Alcedo hispida.* (Зимородокъ голубой).	0·384	2·604
31	*Corvus aegypticus.* (Египетская ворона).	0·356	2·809
32	*Astur palumbarius.* (Ястребъ-тетеревятникъ) . .	0·355	2·816

№	НАЗВАНІЯ.	S	P
33	*Ibis falcinellus.* (Ибисъ)	0·341	2·932
34	*Sturnus vulgaris.* (Скворецъ)	0·339	2·943
35	*Scolopax capensis.* (Бекасъ)	0·338	2·949
36	*Corvus corax.* (Воронъ).	0·332	3·012
37	*Scolopax gallinula.* (Гаршнепъ)	0·328	3·046
38	*Philomachus pugnax.* (Турухтанъ)	0·302	3·311
39	*Ardea nycticorax.* (Чепура кваква)	0·294	3·401
40	*Ciconia alba.* (Аистъ)	0·287	3·499
41	*Charadrius pluvialis.* (Ржанка)	0·284	3·521
42	*Columba aegyptica* (Египетскій голубь)	0·281	3·558
43	*Falco peregrinus.* (Соколъ)	0·265	3·773
44	*Rallus aquaticus.* (Водяной пастушекъ)	0·263	3·802
45	*Pandion fluvialis.* (Скопа)	0·259	3·858
46	*Neophron percnopterus.* (Стервятникъ)	0·242	4·132
47	*Columba aegyptica.* (Египетскій голубь)	0·232	4·310
48	*Numenius arquatus.* (Кроншнепъ)	0·227	4·405
49	*Ortyx coturnix.* (Перепелка).	0·222	4·494
50	*Recurvirostra avocetta.* (Шилоклювка)	0·216	4·619
51	*Oedicnemus crepitans.* (Авдотка)	0·190	5·263
52	*Anas querquedula.* (Чирокъ).	0·177	5·649
53	*Puffinus Kulhi.* (Нырокъ буревой)	0·175	5·714
54	*Gallinula chloropus.* (Камышница)	0·157	6·410
55	*Numenius arquatus.* (Кроншнепъ), самецъ . . .	0·156	6·410
56	*Pelecanus onocrotales.* (Пеликанъ)	0·150	6·634
57	*Gyps fulvus.* (Грифъ)	0·139	7·180
58	*Otogyps auricularis.* (Ушастый грифъ)	0·136	7·323
59	*Pterocles exustus.* (Рябокъ песчанный)	0·136	7·323
60	*Procellaria gigantea.* (Исполинскій буревѣстникъ).	0·131	7·616
61	*Anser sylvestris.* (Гусь)	0·120	8·333
62	*Meleagris Gallopavo.* (Цесарка)	0·107	9·345
63	*Anas clypeata.* (Утка—широконосъ)	0·102	9·750
64	*Тоже,* самецъ	0·090	11·050


Чер. I.
T
V
0
A
B
C
D
E
F
G
H
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
M


S = 1/P = 1/(0,0000298816 V³ + 0,01240345 V²)
T = 0,00000096088 V⁴ + 0,00054772 6 V³ + 0,0000285 V²
P = 0,0000298816 V³ + 0,01240345 V²
t = T/P = 0,032339073 V + 4,963781457 − 2058,9331/(V + 416)
V
Ординаты исключительно для кривой t
(увеличены въ 10 разъ)